المملكة العربية السعودية

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية



هندسة تكييف الهواء

أ. د. مصطفى محمد السيد

١٤٢٩هـ / ٢٠٠٨م

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
السيد ، مصطفى محمد
هندسة تكييف الهواء. / مصطفى محمد السيد - الرياض ،
١٤٢٩ هـ

١٦٨ ص ؛ ١٧,٥*٢٥ سم
ردمك ٨ -٨٠ -٨٩٣- ٩٩٦٠- ٩٧٨

١- هندسة التبريد ٢- تكييف الهواء أ . العنوان
ديوي ٦٩٧,٩ ١٤٢٩/٢٤٩٩

رقم الإيداع: ١٤٢٩/٢٤٩٩
ردمك ٨ -٨٠ -٨٩٣- ٩٩٦٠- ٩٧٨

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم

تشير كثير من الدراسات العلمية الحديثة إلى علاقة إيجابية مابين تعزيز اللغات القومية، ونضوج الوعي العلمي لدى الشعوب من جهة؛ وارتباط ذلك بالتنمية الاقتصادية و الاجتماعية من جهة أخرى

وقد أدركت مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية منذ بداية تأسيسها مسؤوليتها نحو تعميق الثقافة العلمية لدى المجتمع وأصدرت منذ واحد وعشرين عاماً دوريتها المعنونة مجلة العلوم والتقنية الهادفة إلى نشر الوعي العلمي و المعارف العلمية لدى الناشئة وطلاب الجامعات، وأفراد المجتمع عموماً غير أن النقص الكبير للكتب الثقافية العلمية في المكتبة العربية؛ استدعى المدينة إلى تكريس أحد أوجه نشاطها لاستدراك هذا القصور ضمن برنامج إصدار سلسلة كتيبات التوعية العلمية

تهدف هذه السلسلة، والتي يُعد هذا الكتيب أحد إصداراتها، إلى نشر الثقافة العلمية لدى النشء العربي بمسائل علمية لها تأثير مباشر في حياته وسلوكه

كما تساعده هذه الكتيبات على فهم واستيعاب بعض منتجات العلوم والتقنية المحيطة به من جهة أخرى تسعى هذه السلسلة إلى تسليط الضوء على الجوانب السلبية و الإيجابية لمعطيات عصرنا العلمي و التقني، وما يزخر به من منتجات نلهث في سباقنا لاقتنائها وقبل أن تتاح لنا فرصة التعرف عليها وربما كان هذا الجانب الأكثر إلحاحا إلى أهمية تعميق وعينا العلمي، و استيعاب ثقافة هذا العصر ذي الملامح العلمية بامتياز شديد

نسأل الله أن نُوفق في هذا المسعى الطموح؛ لنشر ثقافة علمية متنامية تواكب منتجات عصر العلم والتقنية

والله الموفق،،،

رئيس مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

د محمد بن إبراهيم السويل

مقدمة

يقدم الكتاب الحالي عرضاً مبسطاً لهندسة التبريد وتكييف الهواء، ويهدف إعداد الكتاب إلى نشر الوعي العلمي بين أفراد الوطن العربي بشكل عام، وإلى تقديم مرجع مبسط لمهندسي التبريد وتكييف الهواء حديثي التخرج؛ للرجوع إليه عند الحاجة. كما يهدف الكتاب أيضاً إلى مساعدة المهندسين غير المتخصصين في مجال التبريد وتكييف الهواء، والتعرف على النظم والعمليات المختلفة لهندسة التبريد وتكييف الهواء والتي لها علاقة بأعمالهم. والكتاب يقدم هذه العمليات والنظم بأسلوب سهل ومبسط، وبدون استخدام معادلات رياضية متخصصة، مع استخدام الأشكال التخطيطية والصور الفوتوغرافية ما أمكن.

يقع الكتاب في عشرة فصول، يقدم الفصل الأول: تاريخ التبريد وتكييف الهواء، وكيفية تطور هذه الصناعة منذ بدايتها وحتى وصلت إلى حالتها الراهنة. تقدم الفصول من الثاني حتى الرابع: طرق التبريد. وقد خُصِّصَ الفصل الثاني: للتبريد بانضغاط البخار وهو أكثر طرق التبريد شيوعاً، ويشمل هذا الفصل: عرضاً للمكونات الرئيسة لهذه الطريقة. ويقدم الفصل الثالث: التبريد بالامتصاص، وهو ثاني طرق التبريد شيوعا، وتمتاز طريقة التبريد بالامتصاص بعدم احتياجها لطاقة كهربائية كبيرة للعمل كما هو الحال في حالة التبريد بانضغاط البخار، حيث تعمل هذه الطريقة باستخدام طاقة حرارية سواء كان مصدر هذه الطاقة احتراق وقود مباشرة، مثل: الغاز الطبيعي، أو طاقة حرارية من أي مصدر آخر، كالطاقة الشمسية أو حرارة باطن الأرض. ويقدم الفصل الرابع: طرق التبريد غير التقليدية؛ وبعض هذه الطرق توجد بشكل تجاري منذ فترة طويلة، وإن كان لها بعض الاستخدامات الخاصة، مثل: التبريد التبخيري الشائع الاستخدام في تكييف هواء المناطق الجافة، وبعض التطبيقات الصناعية، والتبريد الكهروحراري المستخدم في التطبيقات التي تحتاج إلى معدات صغيرة الحجم وخفيفة الوزن، والتبريد باستخدام نفّاث الماء، والتبريد باستخدام دورة الهواء الشائعة الاستخدام في الطائرات. أيضا، يقدم الفصل الرابع: طرق التبريد غير التقليدية، والتي

مازالت في مجال البحث والتطوير، مع نجاح محدود في استخدام بعضها بشكل تجاري محدود، مثل: التبريد بدورة إستيرلنج، والتبريد الصوت حراري، والتبريد المغناطيسي، وتبريد أنبوب السريان الدوامي، وتبريد المادة المازة.

خُصّصت الفصول من الخامس إلى العاشر: لتقديم نظم تكييف الهواء. ونقدم في الفصل الخامس: احتياجات نظم تكييف الهواء. ويعنى هذا الفصل بالمتطلبات الواجب توفرها في البيئة الداخلية، وتعريف المؤثرات الخارجية والداخلية التي تؤثر في البيئة الداخلية، وتعريف الراحة الحرارية للإنسان وكيفية تحقيقها. أيضاً يقدم الفصل الخامس: تعريف خواص الهواء والعمليات التي تُجرى على الهواء لتغير حالته، ويقدم الفصل السادس: وصفاً مبسطاً لأهم مكونات نظم تكييف الهواء، من حيث استخدامات هذه المكونات وتقسيماتها وأنواعها المختلفة. ولقد خُصّص الفصل السابع: لعرض النظم التقليدية لتكييف الهواء. ويشمل الفصل السابع: تعريف أهم المصطلحات المستخدمة في هذا السياق، وتقديم نظم التكييف المركزي وغير المركزي، ونظم الهواء الشامل ونظم استخدام الماء المثلج وغيرها، مع عرض مميزات وعيوب كل نظام والتطبيقات المختلفة لاستخدامات هذه النظم. ويقدم الفصل الثامن: النظم غير التقليدية لتكييف الهواء، وتستخدم هذه النظم في بعض المشاريع لتوفير الطاقة ولتحسين اقتصاديات المشاريع، ومن بين هذه النظم: تكييف الهواء بالتبريد التبخيري، وتكييف الهواء باستخدام دورة المادة المازة، ونظم استرجاع الطاقة، ونظم تبريد المنطقة، واستخدام التخزين الحراري، والمحطات ثلاثية التوليد.

يقدم الفصل التاسع: أدبيات التحكم في تكييف الهواء، كما يقدم الفصل التاسع أيضاً أهمية وجود نظام للتحكم ومكوناته الرئيسة، والتطبيقات المختلفة لنظم التحكم، ثم تقديم التحكم الرقمي والتطورات الحديثة به، من حيث تطور نظام إدارة المبنى؛ ليشمل النظم الأخرى بالمبنى، بالإضافة لنظام تكييف الهواء، والمراقبة والتحكم عن بعد باستخدام شبكة الإنترنت، ويقدم الفصل العاشر: وصفاً مبسطاً لمراحل إنجاز أي مشروع والمطلوب بكل مرحلة، بدءاً من مرحلة التصميم، ثم مرحلة التعاقد لتنفيذ بناء المشروع، ثم مرحلة بناء المشروع، ثم مرحلة الضبط

واختبار الأداء، ثم مرحلة التسليم للمالك، ثم أخيراً مرحلة التشغيل والصيانة. ويقدم الفصل أيضا: التداخل بين نظم التكييف والنظم الأخرى بالمشروع، مثل: النظم المعمارية والمدنية الكهروميكانيكية، وأهمية التنسيق الكامل بين هذه النظم لنجاح المشروع.

أحمد الله أولاً وأخيراً الذي وفقني لإكمال هذا الكتاب. كما أحمده بأن أعانني بالكثير من الأصدقاء الذين لم يِّدخروا جهداً لمساعدتي في إنهاء هذا العمل، وأخصُّ بالذكر: أ.د.عمرو الرابغي ـ بقسم الهندسة الحرارية بجامعة الملك عبد العزيز بالمملكة العربية السعودية ـ على الملاحظات العديدة المفيدة التي أوردها عند مراجعته للكتاب.نسأل الله عز وجل أن يجعل هذا الكتاب عملاً يُنتَفع به.

مصطفى محمد السيد

المحتويات

الفصل الأول : تاريخ التبريد وتكييف الهواء

■ التبريد وتكييف الهواء قديماً. ■ بداية صناعة التبريد. ■ بداية صناعة تكييف الهواء . ■ تاريخ المبردات (موائع التبريد). ■ استخدام التبريد في الصناعة. ■ تآكل طبقة الأوزون. ■ الاحتباس الحراري نتيجة تأثير الدفيئة. ■ المساعي الدولية للحد من خطر الهالوكربونات. ■ تواريخ مهمة في صناعة التبريد وتكييف الهواء.

١-١ التبريد وتكييف الهواء قديماً

عرفت الحضارة الإنسانية التبريد والتكييف منذ القدم، واستفادت منه بغرض حفظ الأغذية عند توفرها لاستخدامها في أوقات الندرة، أو لتبريد الماء. فمنذ حوالي ٢٥٠٠ سنة قبل الميلاد، تمكن قدماء المصريين من الحصول على تأثير تبريدي بدرجات متفاوتة تصل في بعض الأحيان إلى الحصول على ثلج، وذلك بالتبخير والتبادل الحراري بالإشعاع بين سطح الماء أو بعض الأطعمة والسماء أثناء الليل ثم عرف الإنسان الأول الفخار أيضاً، وصنع منه أواني عديدة يوضع بداخلها الماء، فيتم تبريده بتبخير جزء منه من سطح هذه الأواني الفخارية. أما في الأماكن التي بها ثلج في بعض فصول السنة؛ فقد استطاع الإنسان منذ القدم تخزين هذا الثلج في الكهوف لفترة طويلة، واستخدمه لحفظ الأطعمة المختلفة، كما ثبت في شمال إيران.

وبتقدم الحضارة الإنسانية ورقيها زادت الحاجة إلى التبريد، فلزم إيجاد السبل للحصول على التبريد بكميات كبيرة وبطريقة اقتصادية، حتى بات من المستحيل تخيل حياتنا دون صناعة التبريد، فمثلاً يلزم التبريد لحفظ الأغذية بكميات كبيرة لإمداد المدن الحديثة بالغذاء اللازم لسكانها، حيث ينتج معظم الغذاء خارج هذه المدن، ولحفظ هذا الغذاء بعد إنتاجه وتوزيعه عند الحاجة إليه. كما يلزم استخدام التبريد لتكييف الهواء للراحة الحرارية في المباني الكبيرة التي يضطر إلى تشييدها في مناطق الأعمال المزدحمة في المدن، ولا يمكن الاستفادة من هذه المباني دون تكييف الهواء بها. كذلك تتطلب حياتنا المعاصرة بالمدن الكبرى، وجود وسائل مواصلات لنقل الأعداد الهائلة من العاملين بسرعة من مكان إلى آخر؛ ويلزم أحياناً عندئذ

تكييف هذه الوسائل لضمان الراحة للبشر.
وبالتقدم الصناعي دخلت صناعة التبريد إلى العديد من الصناعات، إما لتحسين الإنتاجية كما هو الحال في صناعة الغزل والنسج ، وصناعة الملابس، وصناعة الطباعة والتصوير الفوتوغرافي وغيرها، وإما كضرورة لقيام بعض الصناعات التي يصعب تنفيذها لولا وجود صناعة التبريد ، مثل صناعة البلاستيك ، والمطاط الصناعي، والدوائر المتكاملة التي تدخل في صناعة الحاسبات ، ودوائر التحكم المختلفة، أو لإسالة الغازات المختلفة في العمليات الكيميائية الصناعية، أو للتنظيم الأمثل بين عمليتي الإنتاج والتوزيع، كما هو الحال في إنتاج العجائن - على سبيل المثال - حيث تنتج المخابز العديد من العجائن والحلوى والفطائر التي يتم تجميدها مباشرة، ثم تحفظ حتى يتم رفع درجة حرارتها مرة أخرى إلى درجة الحرارة المعتادة، قبل الإعداد للطهي بقليل حتى تكون طازجة.

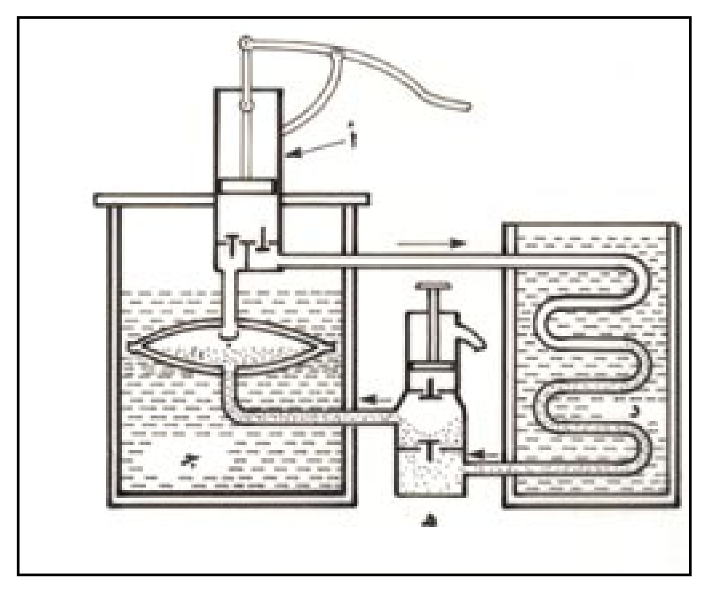
١-٢ بداية صناعة التبريد

لا يعرف بدقة متى استطاع الإنسان توليد الثلج معملياً أو صناعياً، وإن كانت الوثائق العلمية تدل على أن البروفسور كولن (Cullen)، أستاذ الكيمياء بجامعة إيدنبرج، هو أول من استطاع ذلك. ففي عام ١٧٥٥م تقريباً، استخدم كيلن تطاير الأثير لتبريد الماء، ثم استطاع أيضاً الإسراع بعملية تبخير الأثير وخفض درجة حرارة تبخيره، باستخدام مضخة لخفض ضغطه؛ مما ساعد على تحويل الماء المبرد إلى ثلج.

في هذه الأثناء، وطوال النصف الثاني من القرن الثامن عشر، ظهرت فكرة إسالة الغازات برفع ضغطها ثم تبريدها، فمثلاً استطاع كلوت (Clouet) ومونج (Monge) إسالة ثاني أكسيد الكبريت في عام ١٧٨٠م، واستطاع فان موريم (Van Morum) وفان مروستفيجك (Van Mroastvijk) إسالة بخار الأمونيا عام ١٧٨٧م، ولقد ساعدت فكرة إسالة الغازات على ظهور فكرة التبريد بالتبخير، ثم الانضغاط والإسالة مرة أخرى (وهى فكرة دورة التبريد بانضغاط البخار المعروفة حالياً). ويُعتقد أن أوليفر إيفانز (Oliver Evans) بمدينة فلاديلفيا الأمريكية هو أول من أشار إلى هذه الفكرة في عام ١٨٠٥م ، ولا يُعرف إن كان قد قام بتجربتها أم لا.

في عام ١٨٣٤م كان يعقوب بيركنز (Jacob Perkins) أول من أعطى وصفاً مدعماً بالوثائق لدورة التبريد بانضغاط البخار باستخدام الأثير. ويبين شكل (١-١) رسماً تخطيطياً لهذه الدورة، كما اقترحها بيركنز. وتعمل هذه الدورة باستخدام ضاغط يدوى "أ" لخفض الضغط في المبخر "ب" الذي يحوى سائل الأثير، ونظراً لانتقال الحرارة من حمام الماء "ج" المحيط بالمبخر؛ فإنه يتطاير الأثير مسبباً تبريد الماء. ويعمل الضاغط على سحب بخار الأثير من المبخر ورفع ضغطه ودفعه إلى المكثف، "د" حيث يمر بخار الأثير المرتفع الضغط داخل أنابيب محاطة بالماء ، فيتكثف بخار الأثير داخل هذه الأنابيب. بعد ذلك يسري سائل الأثير خلال صمام تمدد "هـ" فينخفض الضغط إلى ضغط المبخر "ب"، ثم تستمر الدورة مرة أخرى. ويستخدم الجزء العلوي لصمام التمدد لشحن النظام مبدئياً بالأثير. ولم تثبت الوثائق قيام بيركنز بتصنيع آلة تعمل بالتصميم المعطى بشكل (١-١) وتجربة تشغيل هذه الفكرة عملياً.

في أستراليا، استطاع هاريسون (Harrison) عام ١٨٥٦م، صُنع آلة لإنتاج الثلج، تعمل بالتصميم نفسه الذي اقترحه بيركنز، ولكن باستخدام أثير كبريتي بدلاً من



شكل ١-١ رسم تخطيطي لأول ماكينة تبريد من اختراع بيركنز

استخدام الأثير. ومن غير المعروف إذا كان هاريسون قد علم بتصميم بيركينز أم لا. في الوقت نفسه استطاع آخرون بناء آلات تبريد مماثلة بطريقة مستقلة في أنحاء أخرى من العالم؛ ففي مدينة أوهايو الأمريكية، صنع الكسندر كاتلن توينينج (A. Catlin Twining) آلة تبريد تنتج قرابة ٢٠٠٠ رطل من الثلج في٢٠ ساعة تقريباً.

نظراً لتطاير الأثير في الضغط الجوي عند درجة حرارة ٣٤,٥°م - وهى درجة حرارة مرتفعة نسبياً - لزم خفض الضغط بالمبخر؛ للحصول على التبريد المطلوب، مما يعرض المبخر إلى الانفجار إذا تسرب هواء إلى داخله، لذلك عمل بعض العلماء والمخترعين في أواخر القرن التاسع عشر على استعمال مواد أخرى تتبخر عند درجات حرارة منخفضة نسبياً، بالقرب من الضغط الجوي. و في عام ١٨٧٠م، استخدم كارل فان ليند (Carl Van-Linde) في ألمانيا الأمونيا بدلاً من الأثير، حيث تتبخر الأمونيا في الضغط الجوي عند درجة حرارة قدرها - ٣٣,٣°م، ومنذ ذلك الحين أصبحت الأمونيا ولسنوات طويلة من الموائع المستخدمة كمبردات، وإن كان يعيبها ارتفاع الضغط بالمكثف إلى قرابة ١٠ ضغط جوى، مما يعني زيادة التكلفة الأولية لتصنيع المكثف. ولم يفضل البعض استخدام الأمونيا في بعض التطبيقات؛ نظراً لخطورتها إذا حدث تسرب من آلة التبريد؛ لهذا السبب، فضل ليند (Linde) بألمانيا، ولو (Lowe) بالولايات المتحدة الأمريكية، وويندهوزن (Windhausen) بألمانيا استخدام ثاني أكسيد الكربون. الذي يمتاز بالأمان في استخدامه، وإن كان من أهم عيوبه ارتفاع الضغط بالمكثف إلى قرابة ٨٠ ضغط جوي.

منذ بداية القرن الحالى تطورت صناعة هندسة التبريد تطورات عديدة متلاحقة، فعلى سبيل المثال قام ميدجلى (Midgley) عام ١٩٣٠م بالولايات المتحدة الأمريكية بتقديم مبردات الهالوكربونات كما سيتضح فيما بعد، كذلك، شهد عام ١٩٣٠م تقديم الضواغط المغلقة لأول مرة، حيث ضُمَّ الضاغط والمحرك في علبة واحدة مغلقة، وعملت آلات التبريد الأتوماتيكية لأول مرة عام ١٩١٧م، عندما صُنِّعَ صمام التمدد الذي يعمل على التحكم في سريان المبرد آلياً تبعاً لحمل التبريد، وضمت آلة التبريد أيضاً ثرموستات؛ لتشغيل وإيقاف الضاغط تبعاً لدرجة حرارة الحمل الحراري. وفي

الفترة نفسها (أي قرابة ١٩١٠م-١٩٢٠م) أمكن زيادة سرعة الضاغط من ١٠٠ إلى ٣٠٠ لفة/دقيقة، وبني بنجاح أول ضاغط ثنائي المرحلة. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣م) وناجنجاست (Nagengast، ١٩٩٥م - ٢٠٠٢م).

١-٣ بداية صناعة تكييف الهواء

يُقصد بتكييف الهواء تغيير حالة الهواء إلى الحالة المناسبة لتطبيق ما؛ وبناءً على هذا التعريف تُقسّم تطبيقات تكييف الهواء إلى قسمين رئيسين، هما: تكييف الهواء للراحة الحرارية للناس، وتكييف الهواء للأغراض الصناعية.

عُرِفَ تكييف الهواء للراحة الحرارية منذ قديم الزمان، حيث قام الإنسان بتدفئة الهواء بالمواقد المختلفة طلباً للدفء شتاءً، أما صيفاً فقد عرف الإنسان تكييف الهواء الذي يعتمد فقط على تحريك الهواء بالمراوح المصنوعة من الريش، دون تغيير درجة حرارته أو نسبة رطوبته. تدريجياً، عرف الإنسان تكييف الهواء بخفض درجة حرارته ، دون التحكم في نسبة رطوبته ، وذلك بتمرير الهواء على أسطح مبللة بالماء فيتم تبريده بتبخير الماء. ثم عرف الإنسان تبريد الهواء بدرجة أكبر بتمريره على ثلج، حيث استجلب هذا الثلج من قمم الجبال العالية، وإن قصر هذا الاستخدام على الملوك والأمراء والأغنياء دون العامة.

وبظهور صناعة التبريد كصناعة جديدة واعدة في بداية القرن العشرين، بدأ الناس في استخدام هذه الصناعة لتبريد الهواء بغرض تكييفه للراحة الحرارية. ولقد تواكب هذا الاستخدام مع نمو المدن العمرانية المزدحمة التي ظهرت بها مباني عملاقة في وسط المدينة، وأصبح من الصعب استخدام هذه المباني دون تكييف هواء. تدريجياً، تحول تكييف الهواء في العديد من المجتمعات من صور الرفاهية الخاصة التي لا يقدر عليها إلا علية القوم، إلى ضرورة يطلبها الجميع. عندئذ، بدأت المجتمعات تعرف أهمية تكييف الهواء لصحة الإنسان (في المجتمعات ذات الأجواء شديدة الحرارة قد تسبب درجة الحرارة المرتفعة حدوث إجهاد حراري للإنسان) وكذلك لزيادة إنتاجيته.

نشأت صناعة تكييف الهواء في بداية القرن العشرين في الولايات المتحدة الأمريكية، ويرجع الفضل في تطوير هذه الصناعة إلى لويس كاريير الذي عمل في

بداية حياته بعد تخرجه بشركة بافالو للحدادة. تمكن كاريير من إقناع الشركة بإنشاء مركز للأبحاث لإجراء تجارب معملية هندسية، وفي هذه الأثناء كُلِّف من قبل شركته بدراسة تأثير ارتفاع الرطوبة بالهواء ـ كما هو الحال في بعض الأيام ـ على انخفاض جودة الطباعة، التي تشتكي منها إحدى شركات الطباعة والنشر الشهيرة في نيويورك، وبعد مجموعة من التجارب المعملية استطاع كاريير تصميم نظام لتثبيت رطوبة الهواء ودرجة حرارته. وتمكن باستخدام هذا النظام من حل مشكلة الطباعة، انظر شكل (١-٢) ولقد كان هذا النظام هو أول نظام يتم بناؤه لتكييف الهواء. يتكون النظام الذي صممه كاريير من ملف تبريد ومروحة، وكان معدل التبريد الذي يعطيه ملف التبريد هو ٦٠ طن تبريد باستخدام ماء آبار، ثم تم استبدال ماء الآبار فيما بعد بماكينة تبريد. ولقد تمكن باستخدام هذا النظام من تثبيت درجة حرارة الهواء عند ٢٧ درجة مئوية وتثبيت الرطوبة النسبية عند ٥٥٪، إلا أن هذا النظام لم يعمل بشكل جيد مما حث كاريير على تكثيف أبحاثه لتحسين التصميم. واستطاع كاريير في نفس العام من تصميم وتشغيل أول نظام تكييف هواء يعمل بنفس الفكرة الأساسية التي يعمل بها نظام التكييف الموجود حالياً.

ولقد أيقن كاريير أن الفهم العميق للعلاقة بين الخواص المختلفة للهواء الرطب سوف تساعد على تصميم نظام للتحكم في درجة حرارة ورطوبة الهواء. ولقد جاءته الفكرة الأساسية للعلاقة بين درجة حرارة الهواء ورطوبته ودرجة حرارة نقطة الندى



شكل ١-٢ أول مطبعة تعمل في جو مكيف الهواء

له أثناء انتظاره للقطار في ليلة كثيفة الضباب. واستطاع كاريير في عام ١٩١١م من استكمال العلاقات الأساسية لخواص الهواء الرطب، ونشر أول خريطة لخواص الهواء الرطب التي عرفت بالخريطة السيكرومترية.

قام كاريير وستة مهندسين آخرين عام ١٩١٥م بتأسيس شركة كاريير الهندسية لتنمية تقنية تكييف الهواء، ولقد ساهمت هذه الشركة بشكل مؤثر في تطوير التقنيات المختلفة لتكييف الهواء، والعمل على نشرها داخل وخارج الولايات المتحدة.

في عام ١٩٠٦م قام المهندس ستيوارت كرامر (Stuart Cramer) باستخدام مصطلح تكييف الهواء لأول مرة؛ عندما صمم نظاماً للتحكم في رطوبة الهواء لمصنع نسيج، وبالرغم من أن صناعة تكييف الهواء بدأت أولاً لتكييف هواء المصانع، إلا أنها سرعان ما استخدمت في المباني التجارية للراحة الحرارية، فانتشر تكييف الهواء بدور السينما والمسارح بأمريكا في الفترة ما بين ١٩١١م إلى ١٩٣٠م. ولقد كان لنمو صناعة تكييف الهواء أكبر الأثر على التطور المعماري للمباني، حيث استغنى المعماريون عن التهوية الطبيعية للمباني، والمناطق المظللة بالمباني، وأمكن استخدام الواجهات الزجاجية بكثرة. ولمزيد من المعلومات عن أهم تطبيقات تكييف الهواء يمكن الرجوع إلى أشري [ASHRAE, 2003].

١-٤ تاريخ المبردات (موائع التبريد)

المبردات هي الموائع التي تسرى في شرايين ماكينات التبريد، ومن أمثلتها الأمونيا ومبرد ١٢، ومبرد ٢٢ وغيرها، وقد تختلف المبردات التي تستخدمها صناعة التبريد تبعاً لاختلاف التطبيقات التي تخدمها هذه الصناعة، وتبعاً للحقبة الزمنية التي عملت بها هذه الصناعة. فقد بدأت صناعة التبريد أولاً باستخدام أثير الأيثيل كمبرد، إلا أنها سرعان ما تخلت عنه لمشاكله العديدة. عندئذ ظهرت مبردات أخرى بديلة لتحل محل أثير الأيثيل، وبدخول هذه المبردات الجديدة مجال العمل بصناعة التبريد؛ ظهرت لها المشاكل الخاصة بها. عندئذ، حلم المهندسون بمبرد جديد يكفيهم هذه المشكلات، فجاء العلم والبحث بالعديد من المبردات المعروفة باسم الهالوكربونات التي كانت تماماً كما تمنى المهندسون، مبردات بلا مشاكل. واستمر العمل بهذه المبردات ما

يقرب من خمسين عاماً، واستيقظت صناعة التبريد صباح يومٍ في التسعينات من القرن العشرين على مشكلات جديدة للمبردات، قد تهدد وجودنا على سطح الأرض، وبالتالي تستلزم إنهاء العمل بالعديد من مبردات الهالوكربونات في صناعة التبريد. ومرة أخرى تجدُّ صناعة التبريد في البحث عن مبردات جديدة دون مشكلات.

في العشرينات من القرن العشرين، قررت شركة فريجيدير الأمريكية، التي كانت كبرى الشركات المنتجة للثلاجات المنزلية في ذلك الوقت، البحث عن بديل جديد للمبردات المستخدمة حينئذ. ولقد اتخذت الشركة هذا القرار لتحققها من وصول صناعة التبريد إلى طريق مسدود لا يسمح بتطويرها مع استمرار استخدام المبردات الموجودة في ذلك الوقت. لهذا الغرض قامت شركة فريجيدير بالتعاقد مع معمل الأبحاث بشركة جنرال موتورز للبحث عن مبرد جديد، وفي أبريل من عام ١٩٣٠م أعلن معمل الأبحاث عن اكتشاف جميع مركبات عائلة الهالوكربونات، وأوصى بأن أفضل هذه المبردات للعمل بالثلاجات المنزلية هو مبرد ١٢. ومنذ ذلك الحين وحتى أوائل التسعينات من القرن العشرين استمر العمل بمبرد ١٢ في الثلاجات المنزلية.

تُنتَج المبردات المعروفة باسم مشتقات الهالوكربونات من الميثان (CH_4) أو الإيثان (C_2H_6) باستبدال ذرات الكلور أو الفلور أو البروم بذرة أو أكثر من ذرات الهيدروجين. ولقد عَرّفت أشري (الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء) عدداً كودياً للمبردات عامة. ويتكون هذا العدد الكودي من ثلاثة أرقام: يمثل الرقم الأول من اليمين عدد ذرات الفلور في المبرد، ويمثل الرقم الثاني من اليمين واحداً مضافاً إلى عدد ذرات الهيدروجين بالمبرد، ويمثل الرقم الثالث من اليمين واحداً أقل من عدد ذرات الكربون في المبرد. ويهمل الرقم الثالث من اليمين إذا كان صفراً، فمثلاً يعرف المبرد الذي رمزه الكيمائي $CHClF_2$ وهو من مجموعة HCFC (هيدروفلوروكربون) بمبرد ٢٢ (أي عدد كودي ٢٢)، ويعرف المبرد الذي رمزه الكيمائي CCl_2FCClF_2 ، وهو من مجموعة CFC (كلوروفلوروكربون) بمبرد ١١٣ (أي أن عدده كودي ١١٣). ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣)، والسيد وآخرون (١٩٩٤/ب)،

وثيفينوت [Thevenot, 1979]، وجينينجز [Jennings, 1978].

١-٥ استخدام التبريد في الصناعة

يمثل تكييف الهواء للأغراض الصناعية قطاعاً كبيراً من قطاعات صناعة التبريد، فمثلاً يُفضَّل في المطابع تكييف الهواء لضمان جفاف أحبار الطباعة بالسرعة الكافية؛ للمحافظة على جودة المطبوعات، ويلزم أيضاً في مخازن الأوراق المحافظة على الرطوبة النسبية للهواء في حدود معينة لمنع تجعد الأوراق، وبالتالي خفض مقدار التالف منها. ويعمل ارتفاع رطوبة الهواء بمصانع الغزل والنسيج والأقمشة على زيادة الإنتاج والمحافظة على سلامة الخيوط أثناء التصنيع. وكذلك تعمل الحاسبات الآلية بأفضل أحوالها في مدى معين من درجات الحرارة والرطوبة، وتعطى مواد التصوير المختلفة أفضل النتائج إذا خزنت واستخدمت في مدى معين من درجات الحرارة والرطوبة، ويلزم التحكم في درجة الحرارة والرطوبة بعمليات الكيمياء الحيوية للتحكم في معدل التفاعل، ويتطلب تصنيع الأجزاء الدقيقة المحافظة على درجة حرارة ثابتة تقريباً لمنع التمدد والانكماش الحراري للمواد، ولمزيد من المعلومات عن أهم تطبيقات التبريد يمكن الرجوع إلى أشري [ASHRAE, 2006].

ولا يمكن للعديد من الصناعات أن تقوم دون استخدام التبريد في عملياتها المختلفة، فمثلاً، يُستخدم التبريد لفصل المكونات المختلفة في عملية تكرير البترول، ويستخدم التبريد أيضاً لإسالة العديد من الغازات التي تستعمل في التطبيقات المختلفة، ويستخدم التبريد لتخزين الغازات في صورتها السائلة بدلاً من صورتها الغازية؛ حيث تزيد كتلة التخزين في الحالة السائلة عدة مرات عن كتلة التخزين في الحالة الغازية (وذلك في الحجم نفسه)، ويساعد التبريد على إسالة البخار الناتج عن تسرب الحرارة إلى مستودعات تخزين السوائل، كما يستخدم التبريد أيضاً لفصل الغازات بعضها عن بعض، كما هو الحال في فصل مكونات الهواء بالتبريد والإسالة لهذه المكونات. ويستخدم التبريد لتكثيف الأبخرة الناتجة من بعض العمليات الصناعية وفصل بعضها عن بعض.

ومن التطبيقات المهمة الأخرى في الصناعة تجفيف الهواء بنزع رطوبته بالتبريد، حيث تتطلب بعض الصناعات هواءً جافاً، كما هو الحال في بعض الصناعات

الدوائية، ويستخدم التبريد لضبط درجة حرارة بعض عمليات التخمر الصناعية، مثل عمليات إنتاج البنسلين وإنتاج الجبن والعجائن. كما أن التبريد يستخدم في العديد من التفاعلات الكيميائية، التي تتم في درجات حرارة منخفضة عن درجة حرارة الجو المحيط؛ للتخلص من الحرارة الناتجة من التفاعل. ويُستفاد من التبريد بصفة عامة: تبريد المواد المختلفة في العديد من عمليات الصناعات الغذائية وغير الغذائية، كما هو الحال في صناعة المواد البلاستيكية، وتقسية الفلزات، وإنتاج الأجهزة والمعدات الدقيقة. كما يساعد التبريد، على سبيل المثال، في تحسين المغناطيسية لبعض المواد بتبريدها إلى درجة حرارة منخفضة لفترة زمنية معينة.

ولقد دخلت صناعة التبريد في العديد من المجالات الطبية؛ فوجدت بعض الجراحات التي يفضل إجراؤها باستخدام تبريد موضعي، كما تُنتج العديد من الأدوية باستخدام عمليات تبريد متنوعة. ويستخدم التبريد أيضاً لحفظ الدم والأنسجة، فمثلاً بتبريد الدم لدرجة ٤ ^{o}م يمكن أن يحتفظ به لمدة تصل إلى حوالي ٢١ يوماً، وبتجميده عند درجة حوالي –٢٠ ^{o}م يمكن الاحتفاظ به لمدة تصل إلى سنة. كذلك يلزم لزراعة الأعضاء حفظها صالحة لحين الحاجة إليها، ولا يمكن هذا إلا بتبريدها إلى درجة حرارة معينة، ويمكن الاحتفاظ بالعظام في حالة جيدة بتخزينها عند درجة حرارة حوالي –٢٠ ^{o}م. كما يمكن المحافظة على بعض أنواع الفيروسات لأجراء الدراسات عليها بحفظها في زجاجات معزولة جيداً ومبـردة إلى درجة حـرارة بين –٢٠ ^{o}م و –٤٠ ^{o}م.

يستخدم التبريد أيضاً لتحسين خواص بعض المواد، فمثلاً يمكن تحسين مقاومة الصلب للتآكل ورفع صلادته بتبريده لدرجة حرارة حوالي –٩٠ ^{o}م، لمدة قرابة ٣٠ دقيقة. كما يُحسّن التبريد مرونة الحديد عند سحبه إلى أسلاك، إضافة إلى ذلك فإنه يؤدى تبريد الحديد وسبائكه إلى درجات حرارة محددة لفترة معينة؛ إلى تحسين حدة الأسلحة الحديدية وآلات القطع، وخفض التمدد والانكماش الحراري لهذه المنتجات.

ويستخدم التبريد أيضاً لتطوير وتحسين أداء صناعة البناء، ولتمكين هذه الصناعة من تنفيذ بعض المشاريع التي يصعب تنفيذها دون الاستعانة بالتبريد، فمثلاً يستخدم التبريد في بعض الحالات لتجميد التربة؛ وذلك لتسهيل عمليات

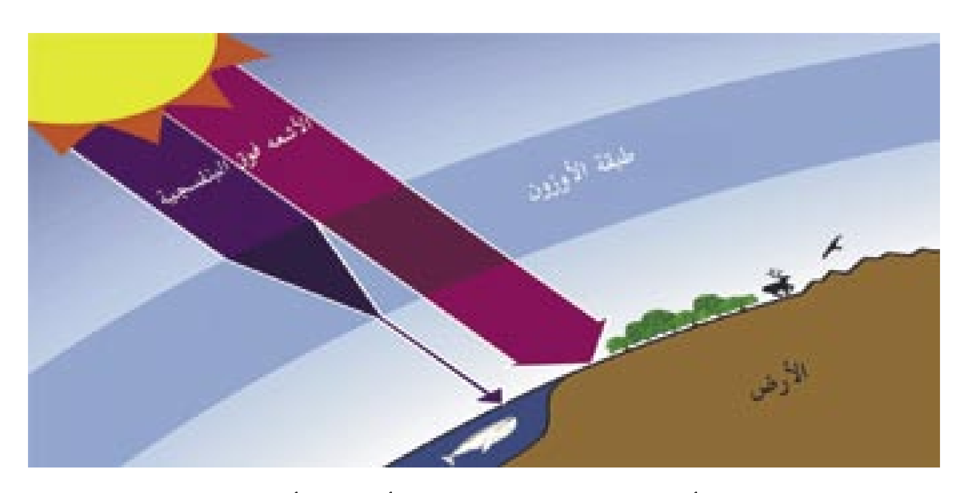
الحفر. وتتطلب بعض المشاريع التي تستخدم كميات كبيرة من الخرسانة؛ تبريد هذه الخرسانة لمنع تشققها عند تماسكها. فعندما تبدأ الخرسانة في التماسك - نتيجة تفاعلها كيميائياً - ينتج قدرٌ هائل من الحرارة التي يلزم إزالتها، حتى لا تتسبب هذه الحرارة في تمدد الخرسانة وحدوث تشققات بها. ويهدف تبريد الخرسانة قبل صبها إلى إزالة هذه الحرارة. وفي مثل هذه الحالة يفضل تبريد الرمل والأسمنت والزلط والحصى والماء قبل خلطها معا، أو دفن مواسير تحمل مياه مبردة داخل صبة الأسمنت.

١-٦ تآكل طبقة الأوزون

تعد مشكلة طبقة الأوزون أهم التحديات المعاصرة لصناعة التبريد. ولقد بدأت هذه الصناعة العملاقة في قبول التحدي، وتعمل حالياً على قهر هذه المشكلة عن طريق استنباط مبردات جديدة تحل محل الهالوكربونات. وتجاهد صناعة التبريد أيضاً في تحسين كفاية معدات التبريد، وعدم السماح بفقد شحنة الهالوكربونات كلية إلى الجو المحيط، والحد ما أمكن من هذا الفقد أثناء صيانة معدات التبريد.

طبقة الأوزون هي الطبقة الخارجية للغلاف الجوي. وهى الطبقة التي تحمي سطح الأرض من الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس، حيث يسمح الأوزون لقدر محدود فقط من هذه الأشعة بالوصول إلى سطح الأرض، كما هو موضح بشكل(١-٣)، وقد يتساءل بعض الناس عن خطر وصول الأشعة فوق البنفسجية بقدر يزيد على حد الأمان إلى سطح الكرة الأرضية. فقد أوضحت الدراسات أن هذه الزيادة تؤدى إلى العديد من الأضرار للإنسان والحيوان والنبات والكائنات الحية بوجه عام. فبينما تؤدي زيادة الأشعة فوق البنفسجية على حد الأمان إلى سرطان الجلد، وعتامة عدسة العين، ونقص المناعة الطبيعية في الإنسان - على سبيل المثال - فإن هذه الزيادة تعمل أيضاً على نقص إنتاجية المحاصيل الزراعية، وقتل العديد من الكائنات البحرية الدقيقة التي تساعد على التوازن البيئي الطبيعي على سطح الأرض.

والآن ، ما هو السبب الذي يعمل على تناقص سُمْك طبقة الأوزون ؟ كان البروفسور رولاند ودكتور مولينا بجامعة كاليفورنيا، هما أول من أعلن في يونيو ١٩٧٤م مسؤولية



شكل ١-٣ بيان امتصاص الأشعة فوق البنفسجية في طبقة الأوزون (الأشعة في اليسار) ، ونفاذ بعض الأشعة نتيجة تآكل طبقة الأوزون (الأشعة في اليمين.

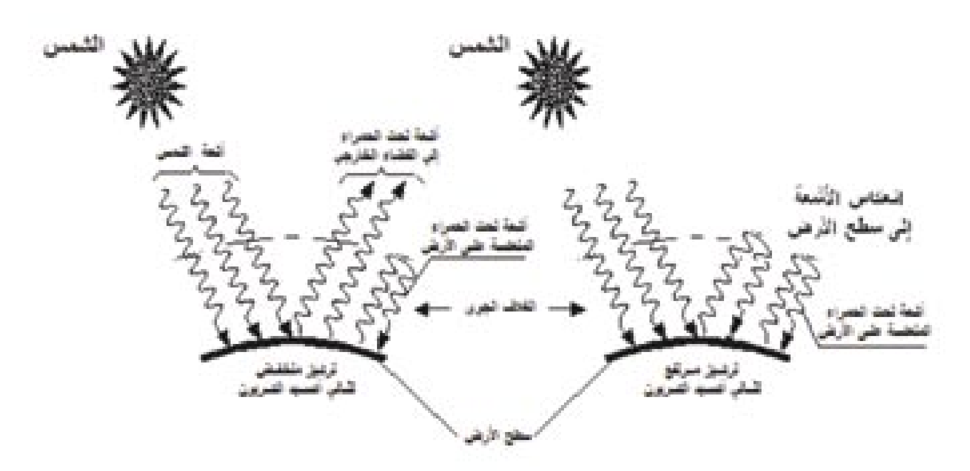
بعض مشتقات الهالوكربونات، عن تناقص سُمْك طبقة الأوزون؛ وذلك عن طريق تفاعل هذه المشتقات مع الأوزون. فبالرغم من صعوبة انفصال ذرات الكلور عن مشتقات الهالوكربونات، إلا أن وجود هذه المشتقات في الغلاف الجوي العلوي لعدة سنوات، يعمل على تفكك جزيئات هذه المشتقات في وجود أشعة الشمس، وانفصال ذرات الكلور. وينتج عن انفصال ذرات الكلور تفاعلات كيميائية تسبب تناقص سُمْك طبقة الأوزون في الغلاف الجوي [Jones, 1994].

١-٧ الاحتباس الحراري نتيجة تأثير الدفيئة

ظهرت في العقود الأخيرة مشكلة جديدة للهالوكربونات، وهى أن انطلاق الهالوكربونات إلى الجو المحيط بالكرة الأرضية قد يساعد في تغيير المناخ؛ هذا هو ما توصل إليه العلم خلال الثلاثين سنة الماضية، وعمل العديد من العلماء على تأكيده. وللتعرف على هذه المشكلة الجديدة، ينبغي أولاً دراسة تأثير الدفيئة، فالدفيئة هي استخدام البيوت المنفذة (مثل الزجاج) في الأغراض الزراعية (أو مايعرف بالصوبا) الزراعية؛ لرفع درجة الحرارة الداخلية لحماية بعض أنواع النباتات في الشتاء من الصقيع، وتوفير المناخ الدافئ اللازم لنموها. فهذه المواد المنفذة تسمح بمرور الإشعاع الحراري قصير الموجة (أي مرتفع الطاقة) خلالها، وتمنع الإشعاع الحراري طويل الموجة من المرور، وبسقوط الإشعاع الشمسي قصير

الموجة على السطح المنفذ، يمّر هذا الإشعاع إلى الداخل ويمتص بالأسطح الداخلية للبيت الزجاجي، مما يعمل على رفع درجة الحرارة بالداخل، وينتج عن هذا انبعاث إشعاع حراري من الأسطح الداخلية للبيت الزجاجي، إلا أن هذا الإشعاع يكون طويل الموجة فلا يمكنه النفاذ من السطح المنفذ، ويرتد إلى داخل البيت الزجاجي مرة أخرى، مما يعمل على احتفاظ البيت الزجاجي بمعظم الحرارة الممتصة داخله. ولقد وُجِدَ أن الغازات الصناعية المنطلقة إلى الجو المحيط بالكرة الأرضية تعمل أيضاً كغطاء منفذ حول الكرة الأرضية . ويتميز هذا الغطاء بالخصائص نفسها التي يتميز بها اللوح المنفذ مما يؤدى إلى تأثير الدفيئة، أي تسخين سطح الكرة الأرضية. وبدراسة هذه الغازات وجد أن غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من احتراق العديد من أنواع الوقود هو أكثر الغازات المنطلقة إلى جو الأرض، والتي تسبب تأثير الدفيئة للكرة الأرضية، أو ما يعرف بظاهرة الاحتباس الحراري. ويوضح شكل (١-٤) رسماً تخطيطيا لظاهرة الاحتباس الحراري، ونظراً للحضارة الصناعية التي نعيشها الآن، والتي تعتمد إلى حد كبير على الطاقة الناتجة من الوقود الأحفوري، فإن غاز ثاني أكسيد الكربون ينطلق إلى جو الأرض بمعدلات كبيرة. ومن المعروف: قيام النباتات بتنقية جو الأرض من غاز ثاني أكسيد الكربون، بما يعرف بعملية التمثيل الضوئي للنبات، حيث تمتص النباتات هذا الغاز وتطلق بدلا منه الأكسجين. إلا أن انطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون من العمليات الصناعية حالياً يفوق ما تحتاجه النباتات منه؛ وبالتالي يتراكم هذا الغاز في طبقات الجو العليا.

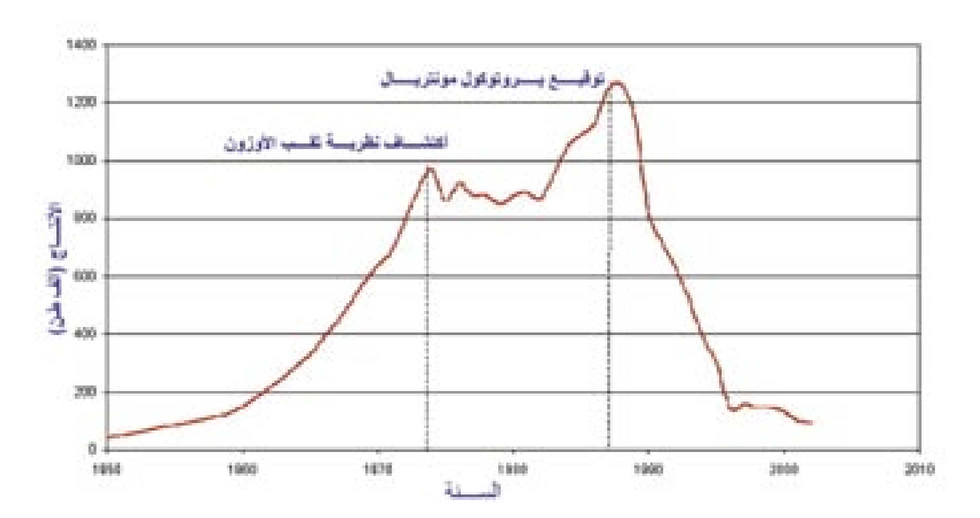
وتساهم صناعة التبريد المستخدمة لمبردات الهالوكربونات أيضاً في تأثير الدفيئة، غير المرغوب فيه للكرة الأرضية. فتعمل مبردات الهالوكربونات المنطلقة إلى جو الأرض أيضاً كسطح منفذ، وبالطبع فإن كميات هذه المبردات المنطلقة أقل بكثير من كميات غاز ثاني أكسيد الكربون المنطلقة، إلا أن تأثير الهالوكربونات أقوى بكثير من تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون في تسخين سطح الأرض، ويعزى هذا إلى سببين: أولهما هو التكوين الكيميائي للهالوكربونات، وثانيهما هو بقاء هذه الهالوكربونات لفترات طويلة (مئات السنين) في طبقات الجو العليا، دون تفكك، فمثلاً: يعادل تأثير انطلاق ١ كجم من مبرد ١٢؛ قرابة ٧١٠٠ كجم من غاز ثاني



شكل ١-٤ توضيح ظاهرة الاحتباس الحراري نتيجة تأثير الدفيئة

أكسيد الكربون بعد ٢٠ سنة، وما يعادل ٧٣٠٠ كجم بعد ١٠٠ سنة، و ٤٥٠٠ كجم بعد ٥٠٠ سنة. أما انطلاق ١ كجم من مبرد ١٣٤أ، الحديث الاستخدام في صناعة التبريد، فيعادل انطلاق ٣٢٠٠ كجم من غاز ثاني أكسيد الكربون بعد ٢٠ سنة. من هنا، تأتي خطورة مبردات الهالوكربونات، من حيث بقاء تأثيرها للعمل كسطح منفذ في الجو لعدة مئات من السنين، وأنها أشد تأثيراً من غاز ثاني أكسيد الكربون [Fisher et al, 1996] .

لم تُعرف حتى الآن خطورة ظاهرة الاحتباس الحراري في الكرة الأرضية. فالدفيئة تعمل على تسخين جو الأرض مما يساعد على تغيير المناخ. ويتوقع العلماء أن هذا التغيير سيؤدي إلى انتشار بعض الأوبئة مثل الملاريا والحمى الصفراء والكوليرا، وعدم توفر الطعام بالقدر الكافي في العديد من الأماكن بالعالم، وندرة المياه العذبة في عدة مناطق من العالم، وغمر مياه البحر والمحيطات للعديد من المناطق الساحلية المكتظة بالسكان. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى كوكس وميرو [Cox and Miro, 1996] . ويوضح شكل (١-٥) انخفاض إنتاج الهالوكربونات نتيجة التشريعات الدولية لحماية البيئة [UNEP 2003].



شكل ١-٥ رسم بياني يوضح انخفاض إنتاج الهالوكربونات نتيجة التشريعات الدولية لحماية البيئة

١-٨ المساعي الدولية للحد من خطر الهالوكربونات

لم يقف العالم مكتوف الأيدي يراقب الأضرار التي تحدث للبيئة، بل وضعت الدول خلافاتها جانباً، ووقفت جنباً إلى جنب؛ لحماية البشرية من الأخطار المحققة الناجمة عن تدمير البيئة. ففي إطار حماية طبقة الأوزون، عقدت عدة مؤتمرات واتفاقيات وشرعت القوانين. كانت أول هذه الاتفاقيات هي اتفاقية مونتريال عام ١٩٨٩م. وهدفت الاتفاقية؛ إلى وضع جدول زمني لحظر استخدام المواد الضارة بطبقة الأوزون. تلي هذه الاتفاقية، مباحثات لندن في عام ١٩٩٠م، ثم المباحثات الدولية في كوبنهاجن عام ١٩٩٢م، وكان من أهم النتائج حظر إنتاج مشتقات الهالوكربونات.

تأخرت المساعي الدولية - بعض الشيء - لوضع القيود التي تحد من تصاعد الغازات التي لها تأثير الاحتباس الحراري؛ وبالتالي تغير المناخ. كان أول هذه المؤتمرات هو المؤتمر الأول للأرض الذي عقد برعاية الأمم المتحدة في مدينة ريودي جانيرو بالبرازيل في عام ١٩٩٣، للتعريف بمشكلة تغيير المناخ. ولقد تعهدت جميع الدول حينئذ- دون إلزام حقيقي- بالعمل على الحد من تصاعد الغازات الصناعية التي لها تأثير الدفيئة للكرة الأرضية.

٩-١ تواريخ مهمة في صناعة التبريد وتكييف الهواء

التاريخ الميلادي	الحدث
١٧٥٥م	البروفســـور كـلين (Cullen)،أستــاذ الكيميـاء بجامعــة ايدنبرج، ينـجح في توليد الثلج صناعياً عن طريق تبخير الأثير لتبريد الماء.
١٨٠٠م	توماس موور (Thomas Moore) يستخدم مصطلح ثلاجة.
١٨٣٤م	يعقوب بيركنز (Jacob Perkins) يعطي وصفاً مدعماً بالوثائق لدورة التبريد بانضغاط البخار باستخدام الأثير.
١٩٠٢م	قام وليس كاريير بتصميم وبناء أول نظام لتكييف الهواء للتحكم في الرطوبة ودرجة الحرارة للهواء الداخلي لمطبعة.
١٩٠٦م	استخدام مصطلح تكييف الهواء لأول مرة في التاريخ بواسطة ستيورت كرامر.
١٩١٣م	اقامة أول معرض دولي متخصص للتبريد (شيكاجو، أمريكا).
١٩١٧م	تكييف هواء أول مسرح (مونتجمرى، الاباما، أمريكا).
١٩١٧م	عملت آلات التبريد الأتوماتيكية عندما صنع صمام التمدد وضمت آلة التبريد أيضاً ترموستات لتشغيل وإيقاف الضاغط تبعا لدرجة حرارة الحمل الحراري.
١٩٣٠م	نجاح ميدجلى (Midgley) بالولايات المتحدة الأمريكية بإنتاج مبردات الهالوكربونات التي تعرف تجاريا باسم: فريون.
١٩٣٠م	تقديم الضواغط المغلقة، حيث ضم الضاغط والموتور في علبة واحدة مغلقة.

التاريخ الميلادي	الحدث
١٩٨٤م	اكتشف بروفيسور رولاند (Roland) ودكتور مولينا (Molina) بجامعة كاليفورنيا: أن بعض مشتقاتٍ الهالوكربونات، وخاصة مبرد ١١ ومبرد ١٢، تمثل تهديداً لطبقة الأوزون المحيطة بالكرة الأرضية.
١٩٨٧م	توقيع الأمم المتحدة بروتوكول مونتريال؛ لحظر استخدام الهالوكربونات لحماية طبقة الأوزون للكرة الأرضية.

الفصل الثاني: التبريد بانضغاط البخار

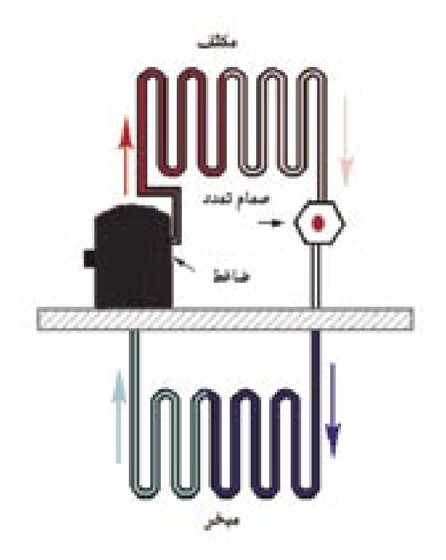
- الفكرة الأساسية للتبريد بانضغاط البخار.
- أنواع المبردات (موائع التبريد).
- المبخر.
- المكثف.
- صمام التمدد.
- الضاغط.

٢-١ الفكرة الأساسية للتبريد بانضغاط البخار

التبريد بالانضغاط هو أكثر طرق التبريد شيوعاً، إذ أن أكثر من ٩٠٪ من معدات التبريد في العالم تعمل بالتبريد بالانضغاط، وتعتمد الفكرة الأساسية للتبريد بالانضغاط على حقيقتين علميتين هما أولا: أن تبخير أي سائل يحتاج إلى حرارة. وثانياً: أن درجة غليان السائل ينخفض بانخفاض ضغطه. وعليه؛ يمكن الحصول على تأثير تبريدي عند تبخير أي سائل عند ضغط منخفض، حيث تكون درجة حرارة هذا السائل منخفضة ويسحب السائل الحرارة من الوسط المحيط به لتبخيره، مما يعني تبريد الوسط.

يبين شكل(٢-١) رسماً تخطيطياً لنظام تبريد بانضغاط البخار. ويتكون هذا النظام من أربعة مكونات أساسية هي: ضاغط، ومبخر، ومكثف، وصمام تمدد. يوجد بهذا النظام مائع يسمى مائع التبريد أو المبرد، ويدور هذا المبرد في هذه المكونات. ويعمل النظام عند مستويين للضغط: الضغط المنخفض في المبخر، والضغط المرتفع في المكثف. يعمل الضاغط على رفع الضغط من ضغط المبخر إلى ضغط المكثف، بينما يقوم صمام التمدد بخفض الضغط من ضغط المكثف إلى ضغط المبخر.

في المبخر يتم تبخير المبرد عند الضغط المنخفض، أي عند درجة حرارة منخفضة. ويقوم المبرد بسحب الحرارة اللازمة لتبخيره من الوسط المحيط به؛ مما يعمل على تبريده، سواء كان هذا الوسط هواءً أو ماء. وهكذا يقوم الضاغط عندئذ، بسحب بخار المبرد الناتج في المبخر لرفع ضغطه وضخه إلى المكثف، وفي المكثف يتم تكثيف المبرد عند ضغط مرتفع أي عند درجة حرارة مرتفعة، وتطرد الحرارة من المبرد إلى الوسط المحيط بالمكثف، وهو عادة الجو المحيط. ويقوم صمام التمدد بخفض ضغط السائل الناتج في المكثف إلى ضغط المبخر، حيث يتم تبخير المبرد مرة أخرى.



شكل ٢-١ رسم تخطيطي لنظام تبريد بانضغاط البخار

يحكم القانون الأول للديناميكا الحرارية عمل نظام التبريد، وينص هذا القانون عند حالة الاستقرار: على أن معدل دخول الطاقة إلى النظام يكون مساوياً معدل خروج الطاقة منه. وينتج عن هذا المعادلة الآتية:

معدل الطاقة اللازمة لتشغيل الضاغط + معدل التبريد المسحوب في المبخر
= معدل الحرارة المطرودة في المكثف

مما يعني أن معدل الحرارة المطرودة من النظام يساوي معدل التبريد مضافاً إليه معدل الشغل المبذول في الضاغط. ويُقيّم أداء نظام التبريد تبعاً لقيمة معامل الأداء للنظام الذي يعرف كما يلي:

معامل الأداء = معدل التبريد / معدل الطاقة اللازمة لتشغيل الضاغط

ويكون قيمة هذا المعامل عادة قرابة ٣، أي أن كل كيلو وات يستهلك لتشغيل الضغط، يعطى ثلاثة أمثاله تقريباً من التبريد. وتختلف قيمة معامل الأداء تبعاً لدرجة حرارة الجو المحيط الذي تطرد إليه الحرارة، وكذلك تبعاً لدرجة حرارة التبريد المطلوب الحصول عليها. ويحاول جميع المصنعين تحسين أداء معدات التبريد بتحسين مقدار معامل الأداء؛ لتوفير طاقة التشغيل. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣)، والسيد (١٩٩٤/ب).

٢-٢ أنواع المبردات (موائع التبريد)

تَستخدم نظم التبريد بانضغاط البخار موائع تبريد تسمى مبردات. تدور هذه المبردات بين المكونات المختلفة لنظام التبريد، حيث تُجَرى على هذه المبردات جميع العمليات المختلفة للديناميكا الحرارية، مثل: انتقال الحرارة والانضغاط والتمدد. وهناك العديد من الخواص التي يجب أن تتوفر في المبرد قبل اختياره للعمل في أحد التطبيقات. وتشمل هذه الخواص: تحقيق سلامة التشغيل وضمان الأداء الأمثل للنظام، وانخفاض تكاليف التصنيع والتشغيل. وكما ورد في الفصل الأول، قامت جمعية آشري بوضع رقم مرجعي لكل مبرد، ويشير هذا الرقم إلى بعض المكونات الكيميائية بالمبرد وليس إلى كل مكوناته، وهي المكونات التي تدخل في تحديد الرقم المرجعي للمبرد وهي عدد ذرات الفلور، وعدد ذرات الهيدروجين، وعدد ذرات الكربون؛ وعليه يتكون الرقم المرجعي من ٣ أرقام: يكون الرقم الأول من اليمين مساوياً لعدد ذرات الفلور، أما الرقم الثاني من اليمين: فيزيد واحد عن عدد ذرات الهيدروجين، ويكون الرقم الثالث من اليمين: أقل بمقدار واحد عن عدد ذرات الكربون.

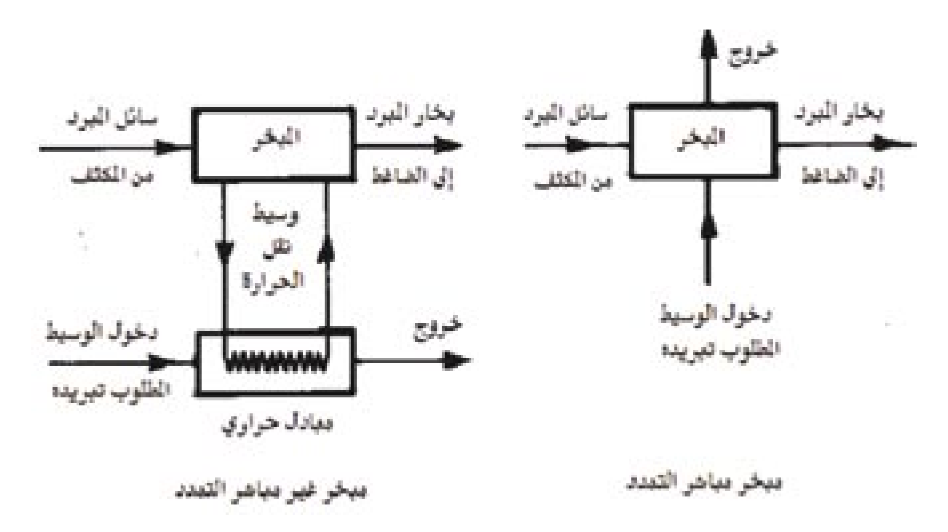
تشتق معظم المبردات من غاز الميثان أو غاز الإيثان؛ وذلك بعد استبدال ذرات الهيدروجين بهما بذرات الفلور أو البروم أو الكلور. ولقد نتج عن ذلك العديد من البدائل المشتقة التي تستخدم كمبردات. وتُعرف هذه المبردات باسم الفريون، وهو الاسم التجاري لها. وباستخدام الرقم المرجعي السابق تقديمه، يمكن تعريف مبرد ٢٢ (أو فريون ٢٢) ومبرد ١٢ (فريون ١٢) وغيرها من المبردات الأخرى.

هناك عدد قليل من المبردات التي لا تشتق من غاز الميثان أو الإيثان. وتعد الأمونيا أشهر هذه المبردات على الإطلاق، وتُعرَف الأمونيا طبقا للرقم المرجعي لجمعية أشري: بمبرد ٧١٧.

ونتيجة لقوانين حماية البيئة، والخاصة بحماية طبقة الأوزون وحماية الجو من ظاهرة الاحتباس الحراري، شُرع حظر على بعض أنواع المبردات، مثل: مبرد ١٢ الشائع الاستخدام سابقاً في الثلاجات المنزلية، وتكييف السيارات، وتم استبدال هذا المبرد بمبردات حديثة صديقة للبيئة. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣)، والسيد وآخرون (١٩٩٤/ب).

٢-٣ المبخر

المبخر هو الجزء المسؤول في دورة التبريد عن القيام بالتأثير التبريدي. ففي المبخر يتبخر المبرد (مائع التبريد) المستخدم في دورة التبريد؛ مما يؤدى إلى سحب الحمل الحراري من المادة أو الوسط المطلوب تبريده. وبناءً على ذلك، يعتمد أداء دورة التبريد، إلى حد كبير، على كفاية عملية انتقال الحرارة خلال سطح المبخر بين الوسط المطلوب تبريده ومبرد دورة التبريد.



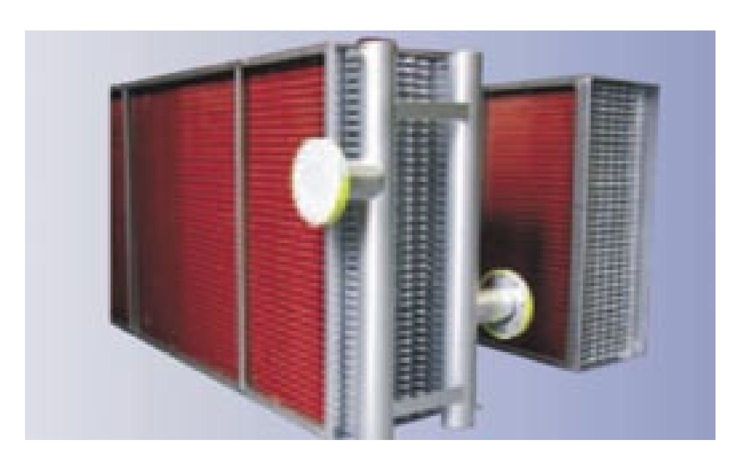
شكل ٢-٢ رسم تخطيطي للمبخرات مباشرة التمدد والمبخرات غير مباشرة التمدد

تقسم المبخرات تبعاً لعملية التبريد إلى مبخرات مباشرة التمدد وأخرى غير مباشرة التمدد. ففي النوع الأول: تتم عملية انتقال الحرارة بين المبرد والوسط خلال سطح المبخر، كما هو موضح بشكل (٢-٢)، أما في النوع الثاني: فيعمل المبخر على تبريد وسيط يعرف بوسيط نقل الحرارة، ثم يقوم هذا الوسيط بتبريد الوسط أو المادة المطلوب تبريدها من خلال مبادل حراري، كما هو موضح أيضاً بشكل (٢-٢).
ومن تطبيقات المبخرات مباشرة التمدد: وحدة الشباك لتكييف الهواء، والثلاجات المنزلية، حيثُ يَبرّد الهواء بتمريره مباشرة على المبخر. ومن أمثلة تطبيقات النوع الثاني: نظم تكييف الهواء المركزية المستخدمة لماء مثلج. وفى هذه النظم يُبرّد الماء بتمريره على المبخر في دورة التبريد، ثم ينقل الماء المثلج إلى أماكن تكييف الهواء، حيث يعمل الماء على تبريد الهواء من خلال ملف تبريد (مبادل حراري).

وتُقسّم المبخرات أيضاً تبعاً للوسط (حمل التبريد) الذي يقوم المبخر بتبريده، أي إن كان هذا الوسط هواء أو سائل كما سنوضح فيما يلي.

٢-٣-١ مبخرات تبريد الهواء (مبردات الهواء)

تصنع المبخرات التي تعمل كمبردات هواء بعدة تصميمات. إلا أن معظمها يكون عبارة عن أنابيب تحمل المبرد بداخلها، ويتصل بها أسطح ممتدة (زعانف) من الخارج، كما هو موضح بشكل(٢-٣).



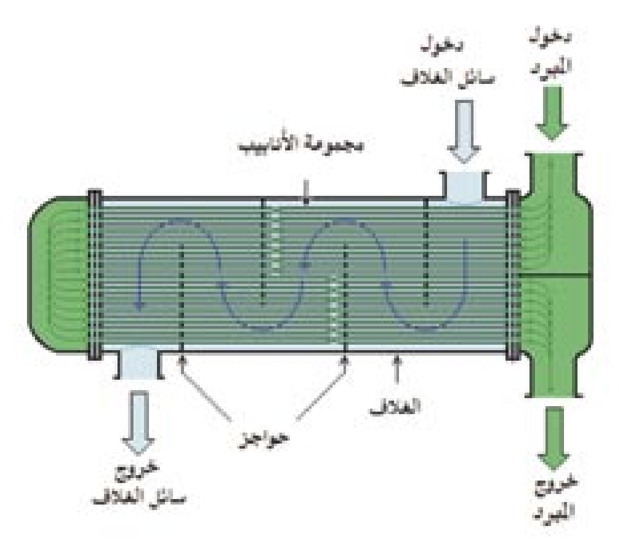
شكل ٢-٣ مبردات الهواء

وتعمل مبردات الهواء تبعاً لطريقة الحمل الحراري المستخدمة في تبريد الهواء، إما بالحمل الحر (أي الطبيعي) أو الحمل القسري. ففي الطريقة الأولى: يبرد الهواء الملامس لسطح المبخر، فتزيد كثافته ويهبط إلى أسفل مسبباً حركة الهواء مما يساعد على عملية التبريد، ومن أمثلة هذا النوع من المبخرات: مبرد الهواء الموجود بالثلاجة المنزلية. أما عند استخدام الحمل القسري: فيلزم استخدام مروحة تجبر الهواء على السريان على سطح انتقال الحرارة بالمبخر، مما يُحسّن عملية تبريد الهواء إلى درجة كبيرة مقارنة بطريقة الحمل الحر، ومن أمثلة هذه الطريقة : وحدات الشباك لتكييف الهواء، وبعض أنواع الثلاجات المنزلية الحديثة. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣)، والسيد وآخرون (١٩٩٤/ب).

٢-٣-٢ مبخرات تبريد السوائل (المبردات)

أشهر أنواع مبخرات تبريد السوائل هو مبخر الأنبوب والغلاف (shell & tube).

يتكون هذا المبخر من غلاف يحوي عدة أنابيب. يسري سائل المبرد القادم من صمام التمدد إلى أنابيب المبخر، بينما يسري سائل حمل التبريد في الغلاف خارج الأنابيب، حيث تستخدم الحواجز بالغلاف لتوجيه سريان السائل حول الأنابيب. ويبين شكل (٢-٤)رسماً تخطيطياً لأحد المبخرات.



شكل ٢-٤ مبخر الأنبوب والغلاف

٢-٤ المكثف

يعمل المكثف على طرد الحرارة من دورة التبريد، فكما بينّا سابقاً: يلزم طرد الحرارة من دورة التبريد كشرط أساسى لعمل الدورة، فإذا عجز المكثف عن طرد الحرارة إلى الجو المحيط بالمعدل اللازم انخفض أداء دورة التبريد وقد تتوقف بالكامل. وتنقسم المكثفات تبعاً للطريقة المستخدمة في طرد الحرارة منها إلى ثلاثة أقسام هي: مكثفات مبردة بالهواء، حيث يتم طرد الحرارة إلى الهواء الجوى المحيط بالمكثف، ومكثفات مبردة بالماء، حيث يتم طرد الحرارة من المكثف إلى الماء الذي يأخذ الحرارة بعيداً عن المكثف، ومكثفات مبردة بتبخير ماء باستخدام الحرارة المطرودة من المكثف، ويسمى المكثف عندئذ: بمكثف تبخيري. وفيما يلي عرض لطرق عمل هذه الأنواع الثلاثة للمكثفات.

٢-٤-١ المكثفات المبردة بالهواء

يتم نقل الحرارة المطرودة في المكثفات المبردة بالهواء بالحمل الحراري، حيث يقوم الهواء بحمل الحرارة من سطح المكثف ونقلها بعيداً عنه. وتكون حركة الهواء على سطح المكثف، إما حركة حرة نتيجة تغيير كثافة الهواء بعد تسخينه بالحرارة المطرودة من المكثف، أو حركة قسرية نتيجة وجود مروحة لدفع الهواء على سطح المكثف. ونظراً لاستخدام الهواء في التبريد وهو غاز له عامل منخفض لانتقال الحرارة فإنه يلزم تعويض ذلك عن طريق تكبير مساحة سطح انتقال الحرارة بالمكثف باستخدام أسطح ممتدة من جهة الهواء تعرف بالزعانف، ويبين شكل (٢-٥) واحداً من هذه المكثفات.



شكل ٢-٥ مكثف مبرد بالهواء

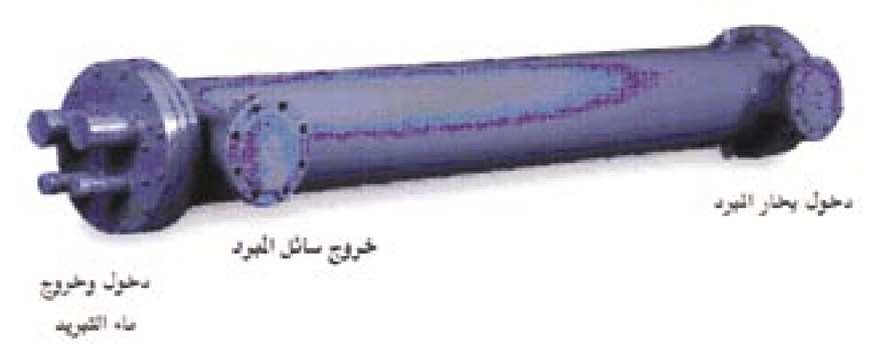
يختلف الشكل الهندسي ومساحة الأسطح الممتدة المثبتة على سطح المكثف تبعاً لحركة الهواء؛ ففي حالة الحركة الحرة تكون هذه الأسطح صغيرة، ويكفى في بعض الأحوال تثبيت سلك عن طريق اللحام إلى سطح المكثف. أما في حالة الحركة القسرية للهواء؛ فتكون كثافة الأسطح الممتدة كبيرة. وتستخدم المكثفات المبردة بالهواء بالحمل الحر في التطبيقات ذات الأحمال الحرارية الصغيرة نسبياً، مثل : الثلاجات والمجمدات المنزلية، بينما تستخدم المكثفات المبردة بالحمل القسري في

معظم التطبيقات الأخرى، مثل: مخازن التبريد، ووحدات تكييف الهواء. ويشترط أن توضع هذه المكثفات في الهواء الخارجي على أسطح المباني، أو بجوارها في أماكن مخصصة لذلك.

٢-٤-٢ المكثفات المبردة بالماء

تستند المكثفات المبردة بالماء على طرد الحرارة إلى ماء يعمل على حمل هذه الحرارة بعيداً، حيث يتم التخلص من الماء بالكامل وتغذية المكثف بماء آخر، أو تبريد هذا الماء بالهواء فيما يعرف بأبراج التبريد، ثم عودة الماء المبرد إلى المكثف مرة أخرى.

وهناك عدة أنواع ونماذج هندسية للمكثفات المبردة بالماء، إلا أن أكثرها شيوعاً هو: مكثف الغلاف والأنبوب، كما هو الحال في المبخرات المستخدمة للسوائل. ويتكون هذا المكثف من غلاف به عدة أنابيب يسري داخلها ماء التبريد، بينما يسري بخار المبرد في الغلاف خارج الأنابيب. وبتبريد بخار المبرد يتم تكثيفه على السطح الخارجي للأنابيب، ويتجمع سائل المبرد في قاع الغلاف، حيث يتم خروجه من المكثف.



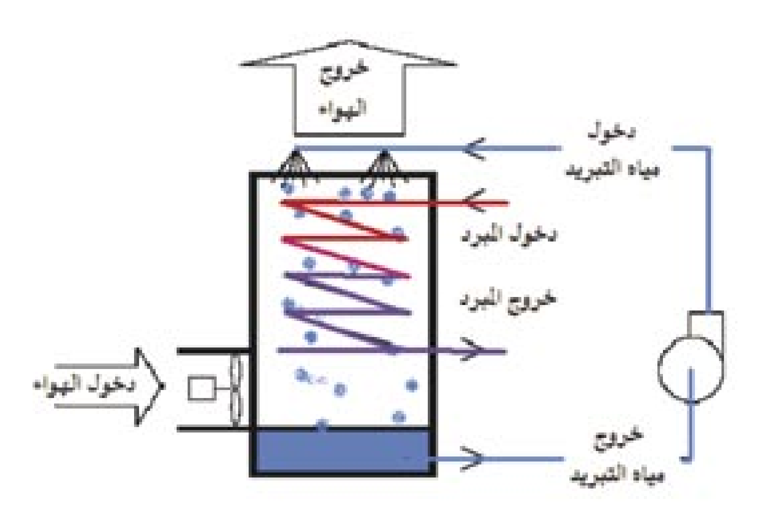
شكل ٢-٦ مكثف مبرد بالماء

ويصنف مكثف الغلاف والأنبوب تبعاً لعدد ممرّات ماء التبريد بالمكثف، فيقال: أن المكثف أحادي الممر لماء التبريد؛ إذا سمح للماء بالمرور مرة واحدة فقط خلال جسم المكثف، أو ثنائي الممر للماء؛ إذا سمح للماء بالمرور مرتين خلال جسم المكثف، وهكذا. ويوضح شكل (٢-٦) واحداً من هذه المكثفات، ويمتاز هذا النوع من المكثفات

بكفاية عملية انتقال الحرارة، كما يمتاز أيضاً بسهولة تنظيف أنابيبه ميكانيكياً بعد فك صندوقي الماء عند طرفي المكثف. ومن عيوب هذا المكثف ارتفاع تكلفته نسبياً بالمقارنة بأنواع المكثفات الأخرى.

٢-٤-٣ المكثفات التبخيرية

يتكون المكثف التبخيري من عدة أنابيب أفقية، يسري بداخلها بخار المبرد، ويسقط ماء من أعلى على السطح الخارجي للأنابيب، بينما يسري الهواء خارج الأنابيب في اتجاه معاكس للماء، أي من أسفل إلى أعلى. ويعمل الماء على تبليل سطح الأنابيب من الخارج. وبمرور الهواء على الأسطح المبللة يتبخر الماء. وينتج عن عملية التبخير سحب الحرارة اللازمة لتبخير الماء من أسطح الأنابيب؛ مسبباً تكثيف بخار المبرد بداخلها. ويسري الهواء الرطب إلى خارج المكثف من الجزء الأعلى به. ويبين شكل (٢-٧) رسماً تخطيطياً لأحد المكثفات التبخيرية، ويتكون المكثف من: جسم المكثف، ومجموعة أنابيب، ومضخة لتدوير ماء التبريد، ومجموعة رشاشات للماء أعلى المكثف، وحوض في أسفل المكثف لتجميع الماء الذي لم يتبخر، ومروحة لسحب الهواء خلال المكثف.



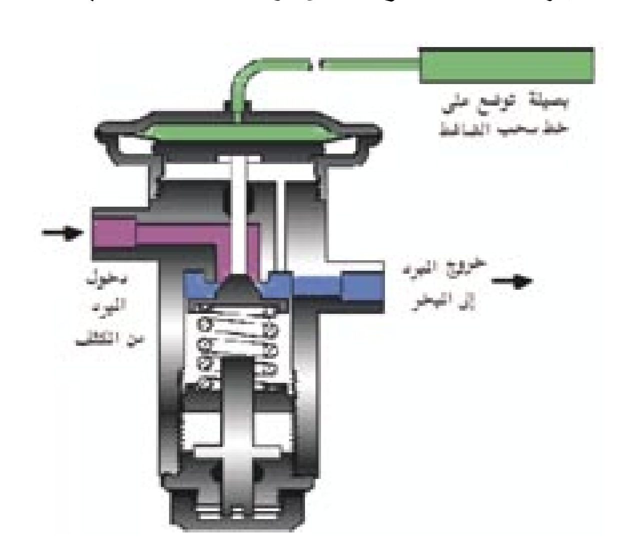
شكل ٢-٧ رسم توضيحي لمكثف تبخيري

وتستخدم المكثفات التبخيرية عادة: مراوح طرد مركزي، نظراً لكبر فقد

الضغط خلال المكثف؛ مما يجعل استخدام المراوح المحورية عندئذ غير اقتصادي. وتُركب المروحة إما عند دخول المكثف، وتعرف عندئذ بمروحة دفع خلال المكثف، أو عند الخروج من المكثف وتعرف بمروحة سحب من المكثف. وفى الحالة الأخيرة يلزم أن تصنع المروحة وريشها من مواد مقاومة للتآكل، نظراً لرطوبة الهواء عند الخروج من المكثف. وفي عدة تصميمات يستخدم محرك واحد لتشغيل المروحة ومضخة المياه بالمكثف.

٢-٥ صمامات التمدد

تستخدم صمامات التمدد لخفض ضغط المبرد من الضغط العالي بالمكثف إلى الضغط المنخفض بالمبخر، بالإضافة إلى التحكم في معدل سريان المبرد إلى المبخر تبعاً لحمل التبريد. ومن أبسط أنواع صمامات التمدد الأنبوب الشعري، وهو أنبوب صغير القطر، ويحدد قطره وطوله بناءً على القيمة المطلوبة لخفض الضغط، نتيجة احتكاك السريان بالجدار الداخلي للأنبوب. ويستخدم هذا الأنبوب كصمام تمدد في الوحدات الصغيرة لتكييف الهواء، مثل: وحدة مكيف الشباك.



شكل ٢-٨ رسم توضيحي لصمام تمدد ثرموستاتي

ويعد صمام التمدد الثرموستاتي من أكثر أنواع الصمامات استخداماً؛ نظراً لما يمتاز به هذا الصمام من أداء متميز. فهو ينظم معدل سريان المبرد من المكثف

إلى المبخر تبعاً لحمل التبريد، كما يعمل الصمام أيضاً على حماية الضاغط من دخول سائل المبرد إليه مما قد يتلفه. ويبين شكل (٢-٨) رسماً توضيحياً لصمام تمدد ثرموستاتي، ويوجد بهذا الصمام بصيلة تثبت على خط سحب بخار المبرد من المبخر إلى الضاغط، وتعمل هذه البصيلة على التحكم في سريان المبرد خلال دورة التبريد تبعاً لمعدل حمل التبريد بالمبخر. ويوجد أيضاً أنواع أخرى من صمامات التمدد التي تعمل في النظم الكبيرة فقط، مثل صمام الصفيحة والثقب، وصمام الفنثوري، وغيرها. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣)، والسيد وآخرون (١٩٩٤/ب).

٢-٦ الضاغط

الضاغط هو قلب نظام التبريد، وهو المحرك للمبرد بين المكونات المختلفة بالنظام. يعمل الضاغط على سحب بخار المبرد من المبخر، ودفعه إلى المكثف بعد رفع ضغطه إلى المستوى المطلوب. وهناك عدة أنواع للضاغط. ويعتمد تقسيم هذه الأنواع على التقنية المستخدمة في رفع ضغط المبرد. وعليه يوجد نوعان من الضواغط هي: ضواغط الإزاحة الموجبة ، وضواغط الطرد المركزي. تعمل ضواغط الإزاحة الموجبة على رفع ضغط بخار المبرد عن طريق إنقاص حجمه. ومن أهم الأنواع الموجودة في هذا القسم الآتي:

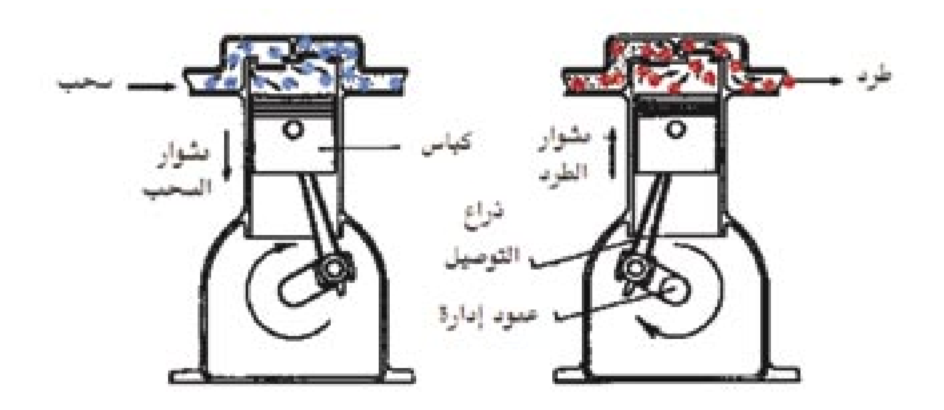
- الضواغط الترددية.
- الضواغط الدورانية.
- الضواغط اللولبية.

وفيما يلي شرح مبسط لأنواع الضواغط السابقة.

٢-٦-١ الضواغط الترددية

تعتبر الضواغط الترددية هي أكثر الضواغط شيوعاً في مجال التبريد. ويتكون الضاغط الترددي، كما هو مبين بشكل (٢-٩) من: كباس يتحرك داخل أسطوانة مسدودة الطرف. وتعرف نهاية الأسطوانة برأس الأسطوانة وتحوي عادة: صمامي دخول المبرد إلى الأسطوانة وخروجه منها. يتحرك الكباس داخل الأسطوانة تبعاً

لدوران عمود إدارة يتصل بالكباس بذراع اتصال. وبدوران عمود الإدارة دورة كاملة يتحرك الكباس داخل الأسطوانة مشوارين، أحداهما يسمى مشوار السحب، والآخر يسمى مشوار الطرد، كما هو مبين بالشكل. ففي مشوار السحب: تسبب حركة الكباس خفض ضغط الغاز داخل الأسطوانة نتيجة التمدد (أي زيادة حجم الغاز)، فإذا قلَّ ضغط الغاز داخل الأسطوانة عن ضغط خط السحب؛ يفتح هذا الصمام ويسحب الغاز إلى داخل الأسطوانة حتى نهاية مشوار السحب. فإذا وصل الكباس إلى أبعد نقطة له عن نهاية الأسطوانة يبدأ مشوار الطرد، أي حركة الكباس في اتجاه نهاية الأسطوانة مما يعمل على رفع ضغط الغاز داخل الأسطوانة. وبزيادة الضغط داخل الأسطوانة عن ضغط خط السحب: يقفل صمام السحب في الحال. وباستمرار حركة الكباس في مشوار الطرد يستمر الضغط داخل الأسطوانة في الارتفاع، حتى إذا زاد هذا الضغط عن ضغط خط الطرد، فتح صمام الطرد عند نهاية الأسطوانة تلقائياً فيسري الغاز إلى الخارج بضغط يعادل ضغط الطرد، فإذا وصل الكباس إلى أقرب نقطة ممكنة له من نهاية الأسطوانة، يبدأ الكباس في العودة مرة أخرى لمشوار السحب، مما يخفض الضغط داخل الأسطوانة، فيغلق صمام الطرد فوراً، ويستمر مشوار السحب كما سبق .



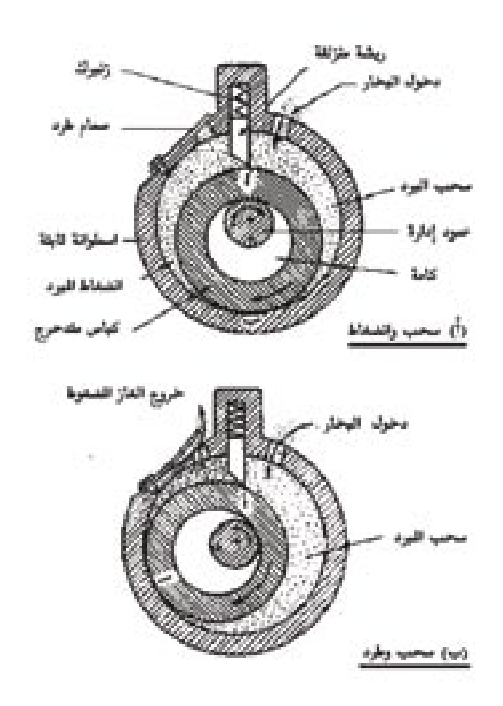
شكل ٢-٩ رسم توضيحي للضاغط الترددي

وتستخدم الضواغط الترددية في العديد من تطبيقات التبريد. وتتوفر هذه الضواغط في الأسواق بقدرات تتراوح بين ٩٠ وات إلى أكثر من ١٢٠ كيلووات

للضاغط الواحد. وتقسّم الضواغط تبعاً لميكانيكية نقل الحركة للضاغط إلى نوعين أساسيين، هما: الضاغط المفتوح، والضاغط محكم الغلق. ففي النوع الأول: يتم نقل الحركة إلى عمود إدارة الضاغط من محرك (موتور) خارجي، لذا يجب مد عمود الإدارة إلى خارج العلبة الحاوية للضاغط، ويلزم ضمان عدم تسرب غاز أو بخار التبريد من حول عمود الإدارة، ويجب اتخاذ الاحتياطيات اللازمة لذلك. ويتم نقل الحركة بين المحرك وعمود الإدارة في الضاغط المفتوح، إما بسير وإما بازدواج. أما في حالة الضاغط محكم الغلق: فيوضع الضاغط والمحرك في علبة واحدة محكمة الغلق وملحومة من الخارج؛ وبالتالي تجرى صيانة الضاغط والمحرك بالمصنع فقط.

٢-٦-٢ الضواغط الدورانية

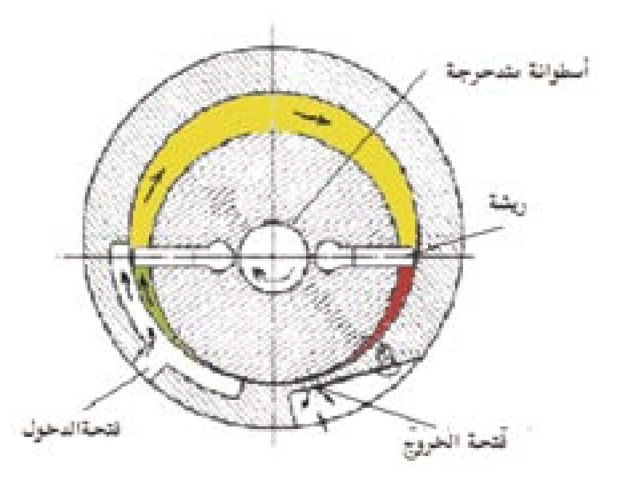
الضواغط الدورانية هي إحدى أصناف ضواغط الإزاحة الموجبة؛ حيث تنتج هذه الإزاحة نتيجة حركة دورانية، بدلاً من الحركة الترددية بالضواغط الترددية. وتتقسم



شكل ٢-١٠ رسم توضيحي لضاغط دوراني أحادي الريشة

الضواغط الدورانية إلى قسمين أساسيين، هما: الضواغط الدورانية أحادية الريشة، والضواغط الدورانية متعددة الريش. ويُعرَف الضاغط الدوراني أحادي الريشة، كذلك، باسم الضاغط الدوراني ثابت الريشة، أو باسم الضاغط الدوراني ذي الكباس المتدحرج. وهذه الأسماء جميعها مترادفات للنوع نفسه من الضواغط.

ويبين شكل (٢-١٠) ضاغطاً دورانياً أحادي الريشة. وكما هو مبين في الشكل، يتكون هذا النوع من الضواغط الدورانية من المكونات الآتية: أسطوانة خارجية، وكباس حلقي، وعمود إدارة متصل مباشرة بكامة، وريشة منزلقة، وصمام طرد. وتمثل الأسطوانة الخارجية الجسم الخارجي للضاغط وتحوي بداخلها: الكباس الحلقي وعمود الإدارة والكامة. كذلك، تضم هذه الأسطوانة داخل تجويف بها: ريشة منزلقة تحت تأثير زنبرك يجعل طرف هذه الريشة دائم الارتكاز على سطح الكباس الحلقي عند نقطة "أ"، كما هو مبين بشكل (٢-١٠). ويوجد داخل الأسطوانة وعلى محورها نفسه عمود إدارة يتصل مباشرة بكامة؛ لدحرجة الكباس الحلقي فوق هذه الكامة، مما يسبب حركة الكباس داخل الأسطوانة الخارجية، بحيث يلامس هذا الكباس سطح الأسطوانة الداخلية في نقطة "ب". وينتج عن حركة الكباس في الاتجاه المبين بالرسم تقسيم الحيز الموجود بين الكباس والأسطوانة إلى جزئيين: أحدهم يحوي بخار المبرد أثناء مشوار السحب، والآخر يحوي بخار المبرد في مشوار الانضغاط أو الطرد. فبالإشارة إلى الحالة (أ) في شكل(٢-١٠). يتم سحب بخار المبرد في الحيز



شكل ٢-١١ رسم توضيحي لضاغط دوراني ثنائي الريشة

الأيمن بالرسم، بينما يتم انضغاط البخار في الحيز الأيسر. وباستمرار حركة الكباس الحلقي، يقل حجم البخار في الحيز الأيسر نتيجة الإزاحة الموجبة للكباس مما يعمل على رفع قيمة الضغط. فإذا زاد هذا الضغط عن ضغط الطرد بخط الغاز الساخن: فتح صمام الطرد ويبدأ مشوار الطرد، كما هو موضح بالحالة (ب) بشكل (٢-١٠).

وتستخدم الضواغط الدورانية متعددة الريش ريشاً مثبتة على سطح الكباس الحلقي، وتسمى هذه الضواغط أيضاً بضواغط الريش الدوارة، بالمقارنة بالنوع السابق (ضاغط الريشة الثابتة). ويبين شكل (٢-١١) ضاغطاً دورانياً ثنائي الريشة. ويدور الكباس الحلقي مباشرة بعمود إدارة دون استخدام كامة، خلافاً للضواغط الدورانية أحادية الريشة، مع ترحيل محور دوران عمود الإدارة عن مركز الأسطوانة الخارجية، كما هو مبين بالشكل. ويقسم الحيز بين الكباس والأسطوانة إلى ٣ أجزاء: في الجزء الأيسر، يتم سحب بخار المبرد. وفى الجزء الأوسط، يتم انضغاط البخار نتيجة هندسة الحيز المحصور بين الكباس والأسطوانة الخارجية. وفى الجزء الأيمن، يتم طرد البخار عند ضغط الطرد. وتتم عملية الطرد فور مرور الريشة على فتحة الطرد، كما هو موضح بالشكل.

وتمتاز الضواغط الدورانية بصغر حجمها، وخفة وزنها بالمقارنة بالضواغط الترددية التي لها سعة التبريد نفسها، حيث تعمل الضواغط الدورانية بسرعة دوران أكبر من السرعة المستخدمة بالضواغط الترددية. كذلك تمتاز الضواغط الدورانية بقلة عدد الأجزاء المتحركة بها، بالمقارنة بعدد الأجزاء المتحركة بالضواغط الترددية، مما يؤدى إلى انخفاض الضوضاء الصادرة من الضواغط الدورانية بالمقارنة بالترددية.

وتستخدم الضواغط الدورانية الصغيرة بقدرات حتى ٥ كيلووات بكثرة في العديد من التطبيقات، مثل الثلاجات والمجمدات المنزلية، ووحدات الشباك للتكييف.

٢-٦-٣ الضواغط اللولبية

الضواغط اللولبية هي ضواغط موجبة الإزاحة، كما ورد سابقاً، وهى تعتبر ضواغط دورانية من حيث التقسيم العام للضواغط. دخلت الضواغط اللولبية صناعة التبريد

وتكييف الهواء بعد عام ١٩٦٠م. ومنذ ذلك التاريخ تطورت صناعة هذه الضواغط تطوراً كبيراً، وشهدت العديد من التغيرات في تصميمها. وتمتاز هذه الضواغط بالسهولة في التصميم والتشغيل، وقوة تحملها، وطول عمرها، وصغر حجمها، وارتفاع كفايتها بالمقارنة بالضواغط الترددية. وتتوفر الضواغط اللولبية بسعات تبريد تتراوح بين ٧٠ كيلوواط (قرابة ٢٠ طن تبريد) وحتى ٤٥٠٠ كيلوواط (قرابة ١٣٠٠ طن تبريد)، مما يعني أن هذه الضواغط لم تستخدم حتى الآن في التطبيقات الصغيرة، مثل: الثلاجات والمجمدات المنزلية، ووحدات الشباك لتكييف الهواء.

يتكون الضاغط اللولبي من مكونات أساسية هي دوار لولبي ذكر، ودوار لولبي أنثى، وأسطوانة حاوية للدوارين، ووصلة سحب بخار المبرد إلى الضاغط، ووصلة طرد بخار المبرد إلى خط الطرد، وذلك بالإضافة إلى أجهزة الأمان والتحكم





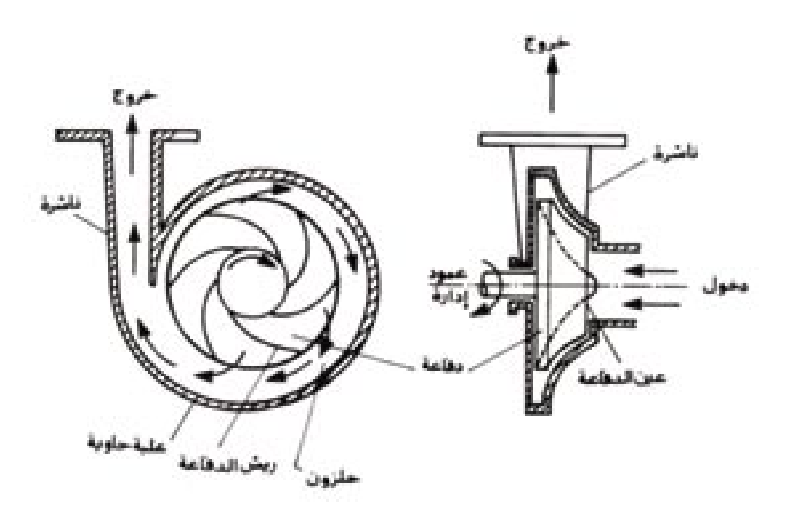
شكل ٢-١٢ ضاغط لولبي، ثنائي الدوار (أعلى) وثلاثي الدوار (أسفل)

الأخرى. وقد تتضمن بعض التصميمات دوارا ذكرا ودوارين أنثيين، ويبين شكل (٢-١٢) رسماً توضيحيا لمقطع في ضاغط لولبي ثنائي الدوار، وآخر ثلاثي الدوار. وكما هو مبين بالشكل، يتكون الدوار اللولبي الذكري من: عمود أسطواني به نتوءات مستديرة حلزونية، أما الدوار اللولبي الأنثوي فهو عبارة عن: عمود أسطواني به تجاويف(أو حزوز) مستديرة حلزونية. وبدوران الدوار الذكري يتم تعشيق نتوءاته في تجاويف الدوار الأنثوي مسبباً دورانه هو الآخر.

يدخل بخار المبرد من وصلة السحب ويملأ الفراغات بين الدوارين والأسطوانة الخارجية، وبدوران الدوار الذكري، ومن ثم دوران الدوار الأنثوي يزاح بخار المبرد بين الدوارين والأسطوانة إلى الأمام حيث يقل الحجم، مما يسبب انضغاط بخار المبرد. وينتقل بخار المبرد تدريجياً في اتجاه وصلة الطرد، حيث يدفع إلى خارج هذه الوصلة عند ضغط الطرد. وتصمم الضواغط الدورانية باختلاف عدد النتوءات بالدوار الذكري عن عدد التجاويف بالدوار الأنثوي وهى عادة ٤ للأول و٦ للثاني.

٢-٦-٤ ضواغط الطرد المركزي

ضواغط الطرد المركزي هي ضواغط ديناميكية تعمل بتحويل طاقة الحركة إلى ضغط. وتستخدم هذه الضواغط قوة الطرد المركزي لرفع طاقة حركة الغاز. كما تمتاز هذه الضواغط عادة، بسهولة أدائها وقوة تحملها، وقلة عدد الأجزاء المتحركة بها بالمقارنة بالضواغط الترددية؛ مما يؤدى إلى عمل هذه الضواغط بكفاية مرتفعة تتراوح بين ٧٠ إلى ٨٠٪ عند ظروف تشغيل مختلفة. وتستخدم هذه الضواغط في النظم ذات سعة التبريد الكبيرة، ولا يمكن استخدامها في التطبيقات التي تحتاج إلى سعة تبريد أقل من ١٠٠ طن تبريد (٣٥٠ كيلووات). وتستخدم ضواغط الطرد المركزي أيضاً بنجاح في نظم درجات الحرارة المنخفضة متعددة المراحل حتى -١٠٠°م.



شكل ٢-١٣ رسم توضيحي لضاغط الطرد المركزي

يتكون ضاغط الطرد المركزي من مكونات أساسية هي: دفاعة مروحية، وعمود إدارة، وعلبة حاوية، كما هو مبين بشكل (٢-١٣). وبدوران عمود الإدارة تدور الدفاعة ، فتسحب الغاز أو البخار المراد ضغطه من عين الدفاعة، ثم تدفعه في اتجاه إشعاعي من المحور إلى الخارج بقوة الطرد المركزية التي تعمل على رفع سرعة الغاز وضغطه ودرجة حرارته أثناء هذه العملية. وعند الخروج من الدفاعة يسري الغاز في اتجاه حلقي في حلزون ، حيث تكبر مساحة المقطع الحلزوني في اتجاه السريان مما يعمل على استرجاع جزء من طاقة الحركة بالغاز إلى ضغط، ويخرج السريان من الضاغط خلال ناشرة في نهاية الحلزون، حيث يحول جزء آخر من طاقة حركة الغاز إلى ضغط.

وكما هو الحال في الأنواع الأخرى من الضواغط، تقسم ضواغط الطرد المركزي إلى ضواغط مفتوحة، وضواغط محكمة الغلق، وضواغط نصف مغلقة. وتصنع الضواغط المحكمة الغلق بسعات تتراوح بين ٧٥ إلى ٢٠٠٠ طن تبريد، أما الضواغط المفتوحة فتتوفر ابتداء من ١٠٠٠ حتى ١٠,٠٠٠ طن تبريد، ولا تصنع عادة ضواغط الطرد المركزي بسعات تبريد أقل من ٧٥ طن تبريد، حيث تصغر أبعاد الدفاعة المروحية إلى الحد الذي يجعل الفقد في القدرة الناتج عن احتكاك السريان داخل

الضاغط يمثل جزءاً محسوساً من القدرة اللازمة لتشغيل الضاغط، مما يقلل من كفاءة الضاغط إلى قيم غير مقبولة عملياً. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى السيد (١٩٩٣)، والسيد وآخرون (١٩٩٤/ب).

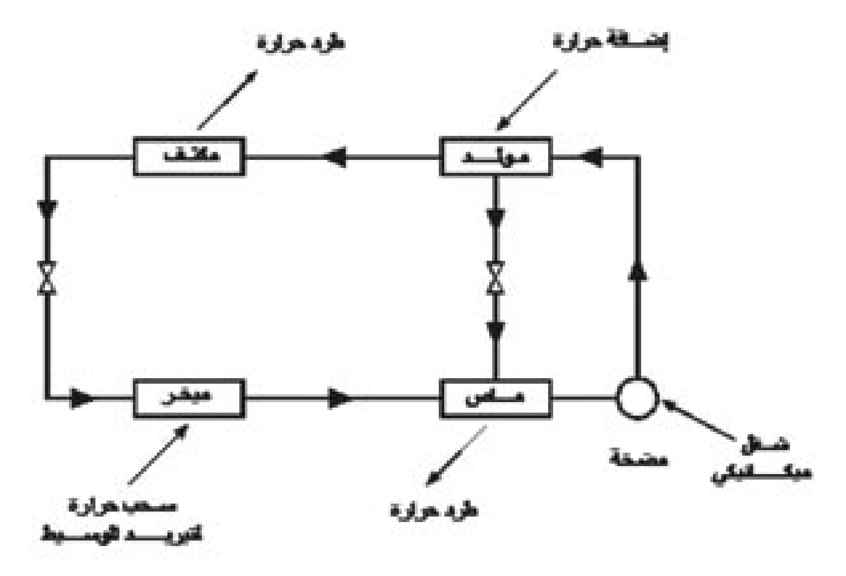
الفصل الثالث: التبريد بامتصاص البخار

▪ الفكرة الأساسية للتبريد بامتصاص البخار. ▪ المبردات المستخدمة في التبريد بالامتصاص. ▪ ماكينات التبريد بالامتصاص. ▪ التبريد بالامتصاص باستخدام الطاقة الشمسية. ▪ التبريد بالامتصاص باستخدام خلايا الوقود. ▪ التبريد بالامتصاص باستخدام حرارة باطن الأرض.

٣-١ الفكرة الأساسية للتبريد بامتصاص البخار

يشبه التبريد بالامتصاص إلى حد كبير، التبريد بانضغاط البخار الذي ورد في الفصل السابق. ففي كلا النظامين يوجد مبخر، حيث يتم تبريد الوسط المحيط عن طريق تبخير المبرد (مائع التبريد). ويوجد مكثف، حيث يتم طرد حرارة تكثيف المبرد إلى الجو المحيط، كما يوجد أيضاً صمام تمدد لخفض ضغط المبرد من الضغط العالي في المكثف إلى الضغط المنخفض في المبخر. ويكون الاختلاف الوحيد بين النظامين هو وسيلة رفع ضغط بخار المبرد الخارج من المبخر، إلى ضغط المكثف، حيث تجري عملية تكثيفه. فكما ورد سابقاً تستخدم دورة التبريد بانضغاط البخار ضاغطاً ميكانيكياً لهذا الغرض. إلا أن رفع الضغط في دورة التبريد بالامتصاص يكون بطريقة أخرى، وهي أن يتم امتصاص بخار المبرد العائد من المبخر في سائل. وتتم عملية الامتصاص في وعاء يعرف بالماص. عندئذ، تستخدم مضخة بدلاً من الضاغط لرفع ضغط الخليط من ضغط المبخر إلى الضغط العالي المناظر لضغط المكثف. ثم يتم فصل بخار المبرد عن السائل الماص له عن طريق التسخين في مبادل حراري يعرف بالمولد، فيذهب بخار المبرد إلى المكثف، بينما يعود السائل الحامل إلى صمام تمدد؛ لخفض ضغطه وعودته مرة أخرى إلى الماص، ويوضح شكل (٣-١) رسماً توضيحياً للمكونات الأساسية لدورة التبريد بالامتصاص.

نتسائل الآن :ما هي الفائدة المكتسبة لاستخدام مضخة لرفع الضغط بدلاً من استخدام ضاغط؟ والإجابة هي توفير الطاقة الميكانيكية أو الكهربائية، حيث تقل الطاقة اللازمة لرفع ضغط سائل بقدر محسوس عن الطاقة اللازمة لرفع ضغط



شكل ٣-١ توضيح الفكرة الأساسية للتبريد بامتصاص البخار

بخار بالقدر نفسه من الضغط، فتكون طاقة المضخة عادة حوالي ٣٪ من الطاقة اللازمة في الضاغط. وبالرغم من هذه الفائدة المهمة إلا أن هذا الأمر يكون على حساب استخدام عدد أكبر من المعدات والمكونات، حيث يستبدل الضاغط في دورة التبريد بانضغاط البخار بأربع مكونات هي: المضخة، والمولد، والماص، وصمام التمدد؛ مما يعني ارتفاع التكلفة الأولية لنظام التبريد بالامتصاص، مقارنة بنظام التبريد بانضغاط البخار.

٣-٢ المبردات المستخدمة في التبريد بالامتصاص

ذكر في الجزء السابق أن دورة التبريد بالامتصاص تستخدم مبرداً وسائلاً ماصاً، ويعرفان معاً بالمحلول الثنائي. ويجب أن يتوفر في المبرد الخواص نفسها اللازمة لمائع التبريد في دورة التبريد بانضغاط البخار. وتكون أهم الخواص الإضافية للمبرد والسائل الماص هي:

- عدم وجود أي من المادتين في الحالة الصلبة عند أي حالة من حالات الدورة.
- سهولة امتصاص السائل الماص لبخار المبرد عند ضغط المبخر.
- سهولة تطاير بخار المبرد من السائل الماص له بالتسخين عند ضغط المكثف.

- انخفاض أو انعدام قدرة المادتين على إحداث تآكل في أنابيب النقل أو مكونات النظام.
- ألا يكون أي من المادتين سامة أو ضارةً بالصحة.

ويوضح جدول ٣-١ أهم المواد المستخدمة في نظم التبريد بالامتصاص.

جدول ٣-١ أهم المحاليل الثنائية المستخدمة في نظم التبريد بالامتصاص

المبرد (مائع التبريد)	السائل الماص	الرمز الكيميائي
ماء	محلول بروميد الليثيوم	H_2O-LiBr
أمونيا	ماء	NH_3-H_2O

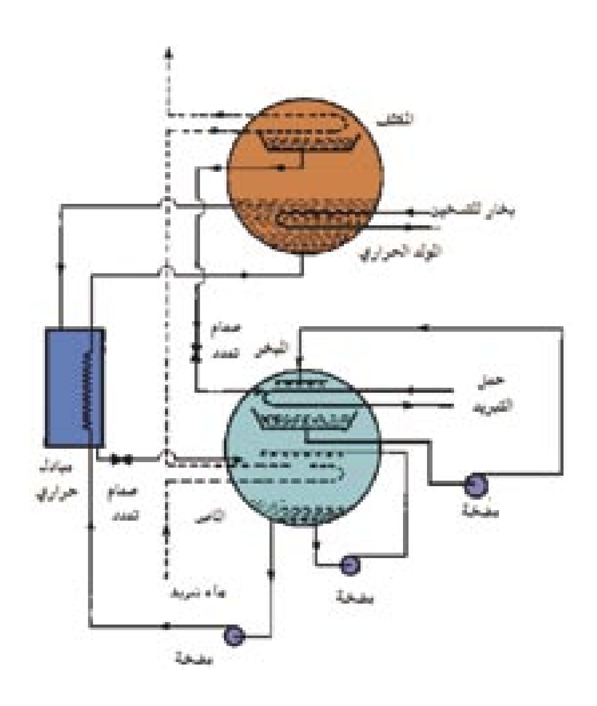
٣-٣ ماكينات التبريد بالامتصاص

تختلف الوحدات التجارية قليلاً في مظهرها العام عن الدورة الأساسية للتبريد بالامتصاص، ويوضح شكل(٣-٢) وحدة تجارية لدورة باستخدام محلول بروميد الليثيوم والماء، وكما هو موضح بالشكل يتم تجميع كل من المكثف والمولد الحراري معاً في حيز واحد؛ نظراً لتساوي ضغطهما. وبالمثل يوضع كل من المبخر والوعاء الماص في حيز واحد لتساوى ضغطها. ويؤدي تصنيع وحدة التبريد بهذه الطريقة إلى توفير كبير في تكاليف التصنيع، كما يساعد على تحسين أداء الدورة. ويستخدم سريان واحد من المياه لتبريد الوعاء الماص أولاً ثم تبريد المكثف بعد ذلك.

تستخدم الوحدة الموضحة بشكل(٣-٢) ثلاث مضخات، وتستخدم إحدى هذه المضخات كمضخة رئيسة: لضخ المحلول المخفف في بروميد الليثيوم من الوعاء الماص إلى المولد الحراري. وتستخدم ثاني هذه المضخات: لإعادة استخدام الماء المبرد الذي لم يتبخر في المبخر، بإعادته إلى المبخر مرة أخرى ورشه فوق أنابيب المبخر لتحسين عملية انتقال الحرارة من الحمل الحراري ، أما المضخة الثالثة فتستخدم: لتحسين عملية التبريد في الوعاء الماص، وذلك عن طريق سحب محلول بروميد الليثيوم والماء من قاع الوعاء الماص، ورشه فوق أنابيب ماء التبريد للوعاء الماص.

ويوضح شكل (٣-٣) نموذجاً آخر لوحدة تجارية للتبريد بالامتصاص، باستخدام محلول بروميد الليثيوم والماء. وتتكون الوحدة من أسطوانة واحدة تحوى المكثف، والمولد الحراري، والوعاء الماص، والمبخر، ولكن مع مراعاة فصل المكثف

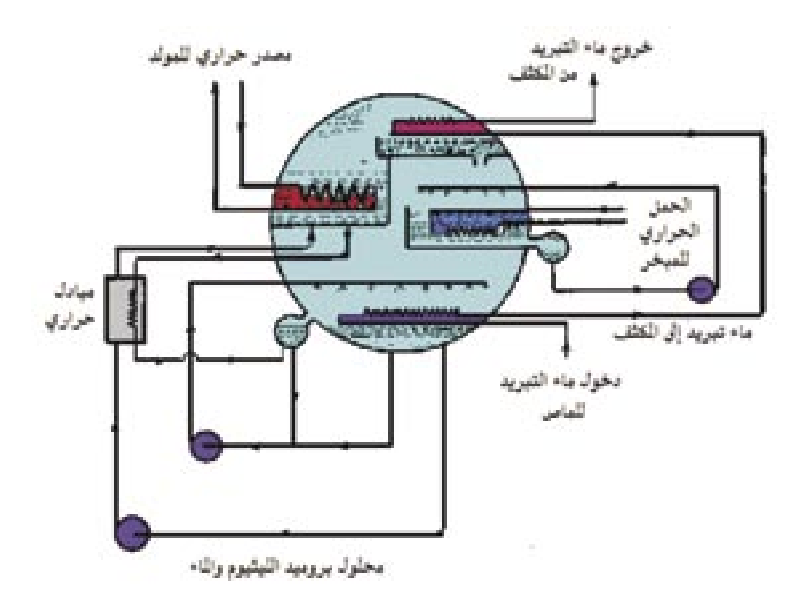
والمولد الحراري عن الوعاء الماص. والمبخر؛ للمحافظة على اختلاف الضغط فيهما. وتحوى هذه الوحدة أيضاً ثلاث مضخات، لها الوظائف نفسها التي وردت سابقاً للوحدة التجارية في شكل (٣-٢).



شكل ٣-٢ وحدة تجارية للتبريد بالامتصاص ثنائية الغلاف

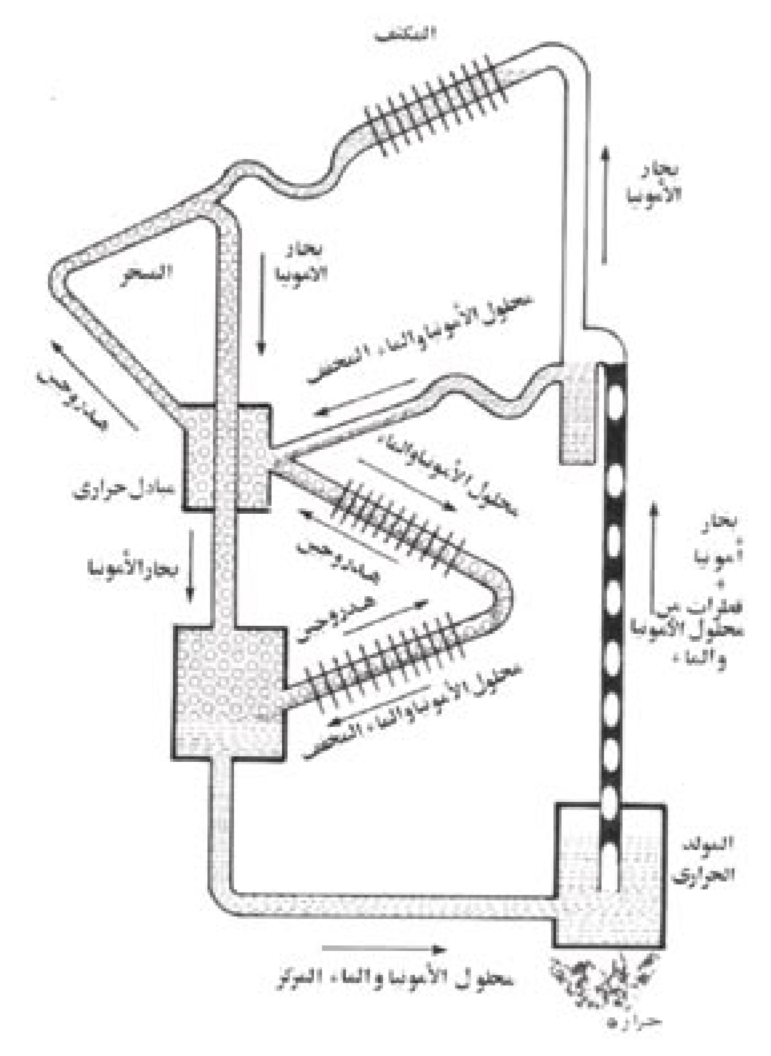
وتوجد أيضاً بعض الوحدات الصغيرة لدورة التبريد بالامتصاص. وهي وحدات صممت للاستخدام المنزلي، أو في عربات الرحلات، أو في المعسكرات والأماكن النائية. وتعمل هذه الوحدات دون أي مضخات، وباستخدام مصدر حراري فقط (عادة بحرق بعض الوقود). ويوضح شكل (٣-٤) إحدى هذه الوحدات. وتعتمد الفكرة الأساسية للتشغيل على قانون دالتون للغازات. فمن المعروف أن ضغط بخار الأمونيا بالماء في حيز يحتوى على الأمونيا والماء فقط يزيد عن الضغط في حيز يحوي غازاً آخر مع كل من بخار الأمونيا والماء، بشرط أن يبقى الضغط الكلي ثابتاً. وعلى هذا الأساس تعمل دورة التبريد الموضحة في شكل(٣-٤) عند ضغط كلي ثابت ولكن مع كون المبخر والوعاء الماص يحويان غازاً مثل الهيدروجين، في حين لا يحوي المولد

الحراري والمكثف أية أبخرة أو غازات سوى بخار الأمونيا والماء؛ وعليه يتغير الضغط من الضغط العالي في المولد الحراري والمكثف إلى الضغط المنخفض في المبخر والوعاء الماص، دون استخدام أي صمامات تمدد أو مضخات. ويعمل الانحناء المملوء بالسائل في الأنابيب بين المكثف والمبخر، وبين فاصل البخار والوعاء الماص، على منع تسرب غاز الهيدروجين من المبخر والوعاء الماص إلى المكثف والمولد الحراري وفاصل البخار، وذلك لامتلاء الانحناء دائما بسائل محلول الأمونيا والماء.



شكل ٣-٣ وحدة تبريد بالامتصاص أحادية الغلاف

بتسخين محلول الأمونيا والماء في المولد الحراري يتصاعد بخار الأمونيا حاملاً معه قطرات من محلول الأمونيا والماء. وفي فاصل البخار يتم فصل بخار الأمونيا إلى المكثف، في حين يعود محلول الأمونيا والماء المخفف في الأمونيا إلى الوعاء الماص. وفى المكثف يتكثف بخار الأمونيا إلى سائل الأمونيا الذي يسري إلى المبخر كقطرات؛ نظراً لوجود الانحناء في الأنابيب. وتتبخر قطرات الأمونيا في المبخر عند ضغط جزئي أقل من ضغط تكثفها في المكثف، وذلك نظراً لوجود غاز الهيدروجين في المبخر. ويسري بخار الأمونيا وغاز الهيدروجين إلى أسفل عبر مبادل حراري، حيث يمتص محلول الأمونيا والماء في الوعاء الماص بخار الأمونيا العائد من المبخر، ويعود غاز الهيدروجين إلى الوعاء الماص ثم المبخر مرة أخرى كما هو موضح بالرسم.



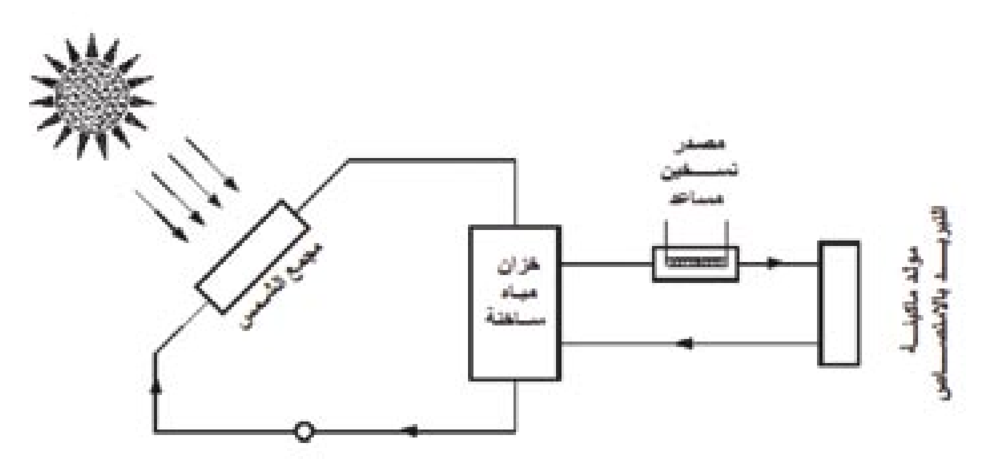
شكل ٣-٤ وحدة تبريد بالامتصاص تعمل بدون مضخات

٣-٤ التبريد بالامتصاص باستخدام الطاقة الشمسية

تحتاج آلة التبريد بالامتصاص إلى مصدر حراري أساسي لعملها، بالإضافة إلى قدر ضئيل من الطاقة الكهربائية لعمل المضخات. ويوجد العديد من البدائل التي يمكن استخدامها كمصدر حراري، والطاقة الشمسية واحدة من هذه البدائل.

تعد الطاقة الشمسية أحد البدائل التي تستخدم إمداد آلات التبريد بالامتصاص بالحرارة اللازمة للعمل. تستخدم الطاقة الشمسية لتسخين ماء في المجمعات الشمسية كما هو مبين في شكل (٣-٥) حيث تعمل هذه المجمعات على تسخين المياه

الموجودة في خزان المياه، ويتم إمداد مولد آلة التبريد بالامتصاص بالمياه الساخنة من الخزان، وذلك بعد مرورها على مصدر حراري مساعد (كهرباء أو غاز أو أي مصدر آخر) لتسخين المياه إلى درجة الحرارة المناسبة، إذا لم تكن درجة حرارة المياه بالخزان الحراري مرتفعة بالقدر الكافي.



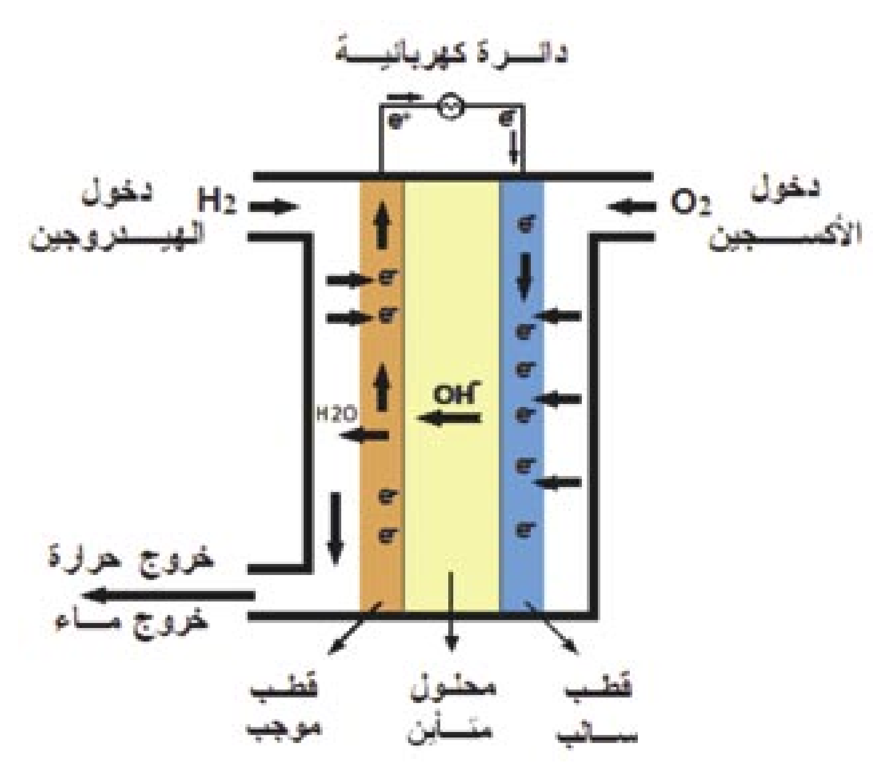
شكل ٣-٥ استخدام الطاقة الشمسية لتشغيل ماكينة تبريد بالامتصاص

وهناك العديد من النظم الشمسية التي تم تعديلها عن النظام السابق؛ بهدف تحسين الأداء لرفع كفاية نظام التجميع، أو لضمان العولية على الطاقة الشمسية كمصدر حراري.

٣-٥ التبريد بالامتصاص باستخدام خلايا الوقود

تعود الفكرة الأساسية لعمل خلية الوقود إلى سير وليم جروف (William Grove) في عام ١٨٣٩م، إلا أن الاستخدام الحديث لخلية الوقود يرجع إلى برنامج الفضاء الأمريكي عند استخدامها في عام ١٩٦٠م، ثم فيما بعد لتوليد الكهرباء والماء في مركبات الفضاء التي تم إرسالها للخارج .

يوضح شكل (٣-٦) الفكرة الأساسية لخلية الوقود، حيث تقوم الخلية باستخدام عملية كهروكيميائية لإنتاج الكهرباء من عملية كيميائية. تتكون الخلية من قطبين كهربائيين مسامين يفصل بينهما محلول متأين. يتم إمداد الوقود مثل الهيدروجين



شكل ٣-٦ الفكرة الأساسية لاستخدام خلية الوقود لتوليد حرارة وكهرباء

إلى القطب الموجب، وإمداد الأكسجين إلى القطب السالب. عند القطب الموجب يقوم الهيدروجين بإطلاق الإلكترونات إلى القطب الموجب، ثم يتحرك أيون الهيدروجين إلى المحلول المتأين الفاصل بين القطبين الكهربائيين. وعند القطب السالب يقوم الأكسجين بأخذ الكترونات من القطب السالب، ثم يتحرك أيون الأكسجين السالب إلى المحلول المتأين، حيث يتحد مع أيون الهيدروجين الموجب ويتكون الماء. تتحرك الإلكترونات المنطلقة عند القطب الموجب في الدائرة الخارجية الموصلة إلى القطب السالب؛ مما يعني توليد تيار كهربائي. وينتج عن هذه العملية أيضاً حرارة، كما هو موضح بشكل (٣-٦) . ولمزيد من المعلومات عن خلايا الوقود يمكن الرجوع إلى فان [Phan 2007] .

ويعد الهيدروجين الوقود المثالي للاستخدام في خلية الوقود، إلا أنه يمكن أيضاً استخدام أنواع أخرى من الوقود، مثل: الميثان، والبروبين، والميثانول، والإيثانول، والغاز الطبيعي، والبترول، وغيرها. وبتقييم خلية الوقود نلاحظ تفوقها على النظم الأخرى

لتوليد الطاقة، فهي تمتاز بكفاية تحويل طاقة قدرها حوالي ٦٠٪ مقارنه بقرابة ٣٥٪ في نظم آلات الاحتراق المعتادة. كذلك، تمتاز خلية الوقود بعدم وجود أي ضوضاء لها عند العمل، وعدم إنتاجها لأي ملوثات كنواتج لعملية التحويل الكهروكيميائى، حيث يكون الناتج من هذه العملية هو الماء النقي.

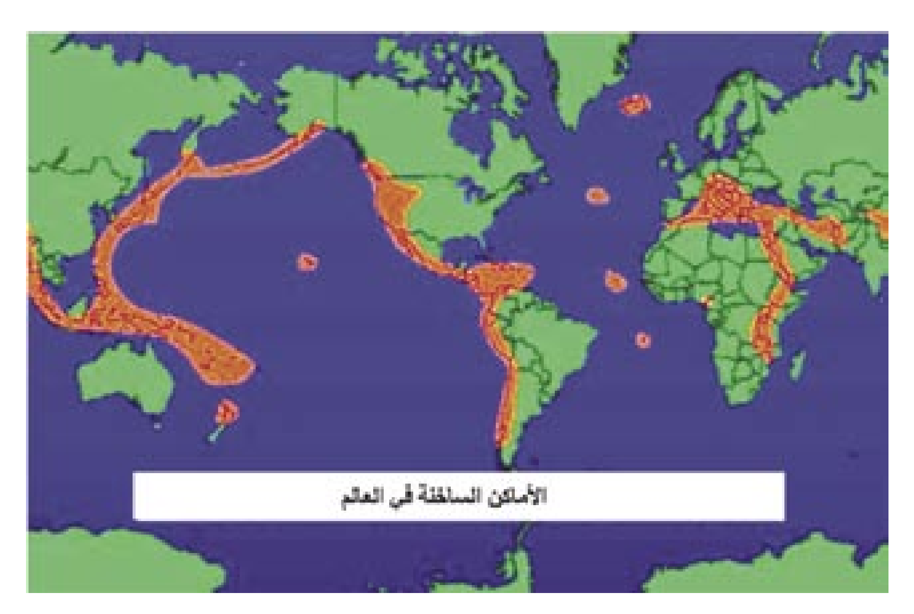
ونتيجة لجميع هذه المميزات تطورت صناعة خلايا الوقود بسرعة، واستخدمت في العديد من التقنيات لتوفير الطاقة. ونظراً لإنتاج هذه الخلايا لطاقة حرارية إضافة للطاقة الكهربائية؛ فقد اقترحت العديد من المؤسسات البحثية استخدام ماكينات التبريد بالامتصاص للعمل مع خلايا الوقود للاستفادة من الحرارة الناتجة من هذه الخلايا في تشغيل ماكينات التبريد بالامتصاص.

٣-٦ التبريد بالامتصاص باستخدام حرارة باطن الأرض

تحوي الكرة الأرضية في باطنها مصدراً حرارياً هائلاً شجع العلماء على العمل المستمر على تطوير الوسائل الاقتصادية المناسبة للاستفادة به. ويتغير عمق وجود هذه الحرارة ومقدار درجة الحرارة المتاحة بها من موقع لآخر على سطح الأرض. فيحوي باطن الأرض في بعض الأحيان مياه جوفية ساخنة أو بخار ماء ساخن، وفي بعض الأماكن الأخرى توجد الحرارة في صخور جافة دون ماء أو بخار ماء. وفي حالة توفر الماء الساخن أو بخاره عند أعماق قريبة من سطح الأرض، تُحفر الآبار لسحب هذه المياه أو بخار الماء الساخن للاستفادة منهما. وتختلف طريقة السحب من مكان إلى آخر. ففي بعض الأماكن تستخدم المضخات، بينما يندفع الماء الساخن أو بخاره إلى أعلى دون مضخات في بعض الأماكن الأخرى. أما الأماكن التي توجد الحرارة بها في صخور جافة، فيتم ضخ الماء إلى هذه الأعماق لتسخين الماء والاستفادة منه على سطح الأرض.

ويوضح شكل (٣-٧) توزيع مواقع الأماكن الساخنة في العالم، وهي عادة بالقرب من الشواطئ، بالإضافة إلى وجودها في المحيطات. وتقع هذه المواقع في المنطقة العربية ما بين المملكة العربية السعودية، وجمهورية مصر العربية في منطقة البحر الأحمر، وكذلك بالقرب من مضيق جبل طارق في شمال الجزائر و المغرب.

تستخدم حرارة باطن الأرض لتوليد الكهرباء في الأماكن التي تتوفر فيها هذه



شكل ٣-٧ مواقع الأماكن الساخنة في العالم

الحرارة عند درجات حرارة مرتفعة، كما تستخدم أيضاً في بعض التطبيقات التي تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة نسبياً، مثل: المضخات الحرارية التي تعمل على سحب الحرارة من باطن الأرض؛ لتدفئة المنازل شتاءً. وكذلك، تستخدم حرارة باطن الأرض كمصدر تسخين لماكينات التبريد بالامتصاص. وتحتاج منظومة سحب الحرارة من باطن الأرض إلى المكونات الأساسية الآتية:

- مجموعة من الأنابيب.
- سائل ناقل للحرارة من باطن الأرض إلى خارجها.
- مضخة تدوير سائل نقل الحرارة.

يستخدم الماء كوسيط جيد منخفض التكاليف لنقل الحرارة من باطن الأرض إلى سطحها، حيث يستخدم هذا الماء كمصدر حراري لماكينة التبريد بالامتصاص.

ومن أهم مميزات استخدام حرارة باطن الأرض هو الحصول على طاقة حرارية نظيفة لا تسبب أي تلوث بيئي، إلا أن أهم العيوب هو عدم وجود مناطق كثيرة في العالم تصلح للاستخدام الاقتصادي، حيث قد تكون هذه الطاقة على أعماق كبيرة أو توجد في مناطق صخرية يصعب العمل فيها، وقد يصاحب خروج الماء أو بخاره غازات ضارة أيضاً، وقد ينضب الماء الساخن أو بخاره في بعض الأماكن؛ مما يعني عدم الاستفادة من الاستثمارات التي تمت لاستخراج الحرارة من باطن الأرض.

الفصل الرابع: التبريد بطرق غير تقليدية

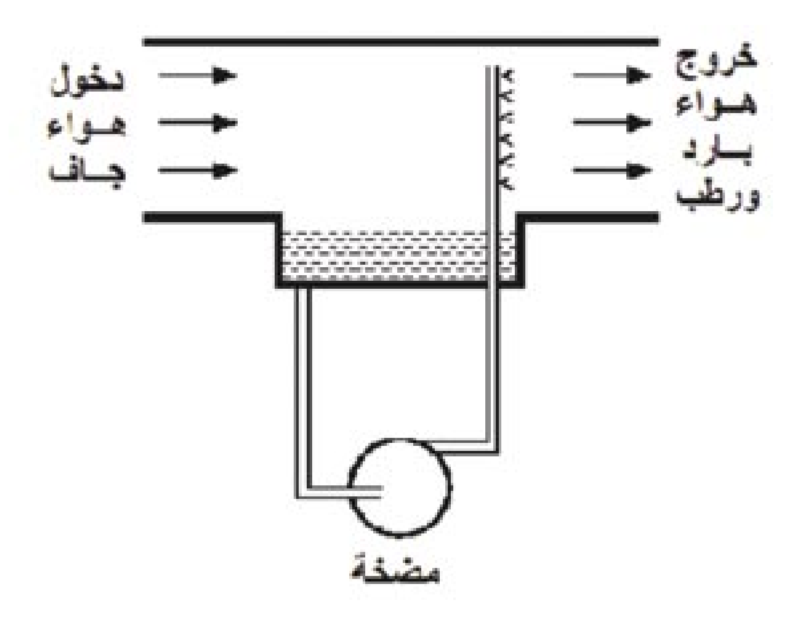
- التبريد بالتبخير. ■ التبريد الكهروحراري. ■ التبريد باستخدام نفاث الماء.
- التبريد باستخدام دورة الهواء. ■ التبريد بدورة إستيرلنج. ■ التبريد الصوت حراري. ■ التبريد المغناطيسي. ■ تبريد أنبوب السريان الدوامي.
- تبريد المادة المازة.

تزخر مكتبة أبحاث علوم التبريد وتكييف الهواء، بكم لا بأس به من الطرق والتقنيات التي يمكن استخدامها للتبريد وتكييف الهواء. وبينما تُستخدم بعض هذه الطرق والتقنيات تجارياً بشكل واسع الانتشار، نجد أن بعضها محدود الاستخدام تجارياً بسبب صعوبة توفُرها بشكل اقتصادي، أو لوجود بعض القصور في تقنية التصنيع يمنعها من الانتشار تجارياً في الوقت الحالي، إلا أنه بتغير الزمان والاقتصاديات قد نرى بزوغ نجم بعض أو كل هذه الطرق.

وقد وردت دورة التبريد بانضغاط البخار في الفصل الثاني، ثم دورة التبريد بالامتصاص في الفصل الثالث، ويتناول الفصل الحالي: عرض الطرق غير التقليدية للتبريد.

٤-١ التبريد بالتبخير

في هذه الطريقة يتم الحصول على التأثير التبريدي عن طريق تبخير ماء في الهواء، فيقوم الماء بسحب الحرارة اللازمة لتبخيره من الهواء؛ مما يؤدي إلى تبريده. وتعد هذه الطريقة من أقدم الطرق المعروفة للإنسان لتكييف الهواء، حيث استخدمت هذه الطريقة بكثرة في المنازل العربية بالأندلس. فاعتمدت العمارة هناك بشكل كبير على وجود نافورات تضيف جمالاً إلى حديقة المنزل، وتعمل على تبريد الهواء الخارجي المتسرب إلى المنزل لتلطيف جوه. ويعرف هذا النظام في البلاد العربية باسم التكييف الصحراوي. يعتمد مقدار التبريد المتوقع للهواء على مقدار البخار من الماء، وعليه يكون تبريد الهواء فعالا كلما كان الهواء أكثر جفافاً.

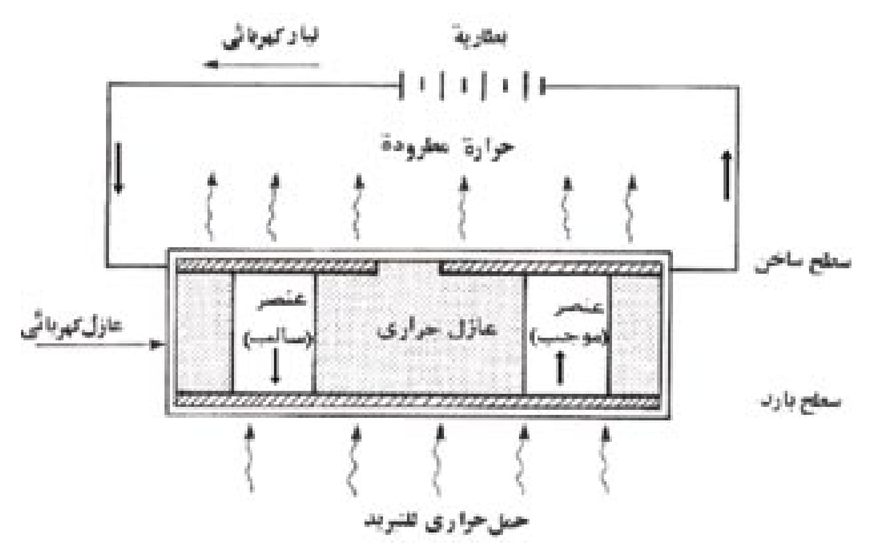


شكل ٤-١ الفكرة الأساسية لتبريد الهواء بالتبخير

بينما ينعدم تبريد الهواء إذا كان مشبعاً ببخار الماء، ويوضح شكل (٤-١) الفكرة الأساسية لتبريد الهواء بالتبخير.

٤-٢ التبريد الكهروحراري

يعتمد التبريد الكهروحراري (thermo-electrical cooling) على استخدام ظاهرة فيزيائية تعرف بتأثير بلتير، نسبة إلى العالم الألماني بلتير. فطبقاً لهذه الظاهرة فإنه إذا تم تكوين دائرة كهربائية من فلزين مختلفتين من خلال توصيل هذين الفلزين معاً من طرفيهما، وتم مرور تيار كهربائي في هذه الدائرة فإن إحدى الوصلتين تسخن بينما تبرد الوصلة الآخرى (أنظر شكل ٤-٢). ويعتمد معدل الحرارة المنبعثة عند إحدى الوصلتين والمسحوبة عند الوصلة الأخرى على نوع الفلزين، إلا أنه لوحظ أن استخدام أشباه الموصلات يعطي تبريداً أفضل من استخدام الفلزات. ويمكن لزيادة معدل التأثير التبريدي المسحوب عند الوصلة الباردة، استخدام عدة وصلات على التوالي في دائرة واحدة. وتمتاز هذه الطريقة بعدم وجود أجزاء متحركة، وعدم وجود ضوضاء تصدر منها عند التشغيل، وعدم انبعاث أي ملوثات منها. أما أهم



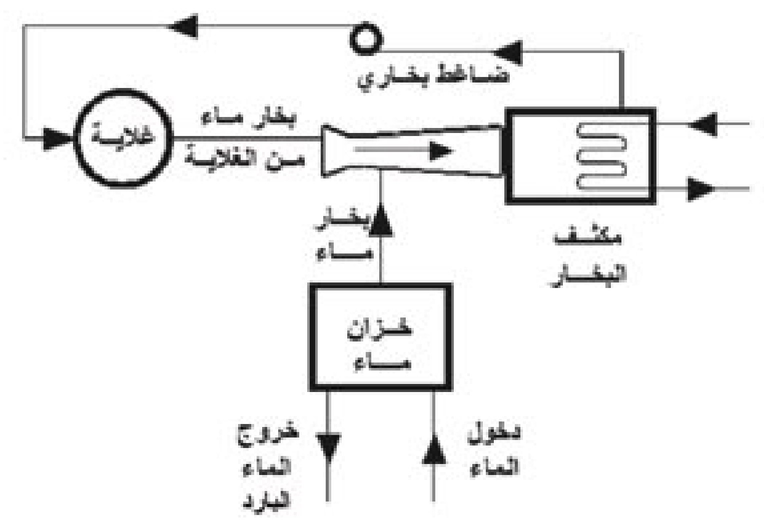
شكل ٤-٢ طريقة عمل التبريد الكهروحراري

عيوب هذه الطريقة فهو: انخفاض كفاية تشغيلها؛ مما يعني استهلاك كبير للطاقة عند العمل بها، ويوضح شكل (٤-٢) طريقة عمل التبريد الكهروحراري.

وتستخدم هذه الطريقة تجارياً بنجاح في التبريد الموضعي للأشياء الصغيرة، التي تحتاج إلى تبريد بمعدلات صغيرة لا يمكن الحصول عليها من دورة التبريد بانضغاط البخار، مثل: التطبيقات العسكرية، وبعض التطبيقات الأخرى في مجال الطب والاتصالات. ولقد قامت بعض الشركات بتصنيع معدات تبريد باستخدام هذه الطريقة، إلا أنها لم تستخدم بالقدر الكافي تجارياً. ولم يظهر حتى الآن بارقة أمل في استخدامها لتكييف الهواء في المباني بشكل اقتصادي.

٤-٣ التبريد باستخدام نفاث بخار الماء

من المعروف أن الغليان أو التحول الكامل من الحالة السائلة إلى بخار، يعتمد على ضغط السائل. فكلما انخفض الضغط انخفضت درجة غليان السائل. فمثلاً عند الضغط الجوي يغلي الماء عند ١٠٠ درجة مئوية، فإذا أصبح الضغط نصف الضغط الجوي؛ كان غليان الماء عند ٨١ درجة مئوية، فإذا أصبح الضغط ٠,٠١ ضغط جوي كان غليان الماء عند ٨ درجة مئوية. وهذا يعني الحصول على تأثير



شكل ٤-٣ التبريد باستخدام نفاث بخار الماء

تبريدي عند هذه الدرجة للحرارة. فإذا تم تبخير جزء من الماء عند هذا الضغط المنخفض، قام الجزء المتبخر بسحب الحرارة اللازمة للتبخير من الماء حتى يصل الماء إلى درجة حرارة الغليان المناظرة للضغط.

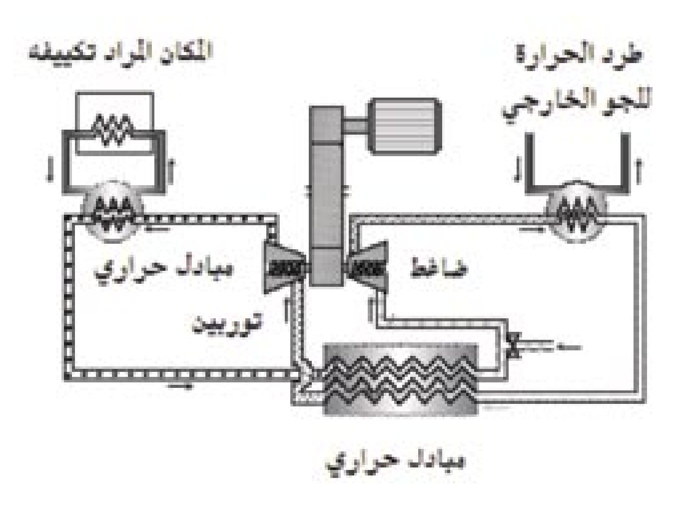
ولقد استخدمت هذه الفكرة في نظام تبريد نفاث بخار الماء، كما هو موضح بشكل (٤-٣). ويتكون النظام من: مصدر بخار، ونفاث بخار، وخزان الماء. يدخل البخار الساخن عند ضغط مرتفع إلى أنبوب له مساحة مقطع متقارب ـ متباعد، كما هو موضح بالشكل، حيث يتم زيادة سرعة البخار بتحويل الضغط إلى طاقة حركية في الجزء المتقارب من الأنبوب. وتصل هذه السرعة إلى حدها الأقصى عند العنق، مكوناً نفاثاً من البخار، يعمل على سحب البخار من خزان الماء بالمعدل اللازم؛ للمحافظة على ضغط الخزان عند قيمة منخفضة لدرجة حرارة الغليان المطلوبة للماء في الخزان. يسير خليط بخاري الماء معاً في الجزء المتباعد من الأنبوب، حيث تزيد مساحة السريان تدريجياً؛ مما يؤدي إلى خفض سرعة السريان ورفع الضغط. يدخل البخار إلى المكثف، حيث يتم تكثيفه إلى ماء، يعود مرة أخرى إلى الغلاية، وهكذا. يسحب الماء المبرد في خزان الماء للاستفادة منه في التطبيقات التي تحتاج إلى تبريد، وقد يعود هذا الماء إلى الخزان مرة أخرى لإعادة تبريده، أو يدخل ماء آخر للتعويض بدلاً منه إلى الخزان، كما هو موضح بشكل (٤-٣).

ونظراً لاستخدام هذا النظام للماء كمبرد، فإنه يحد من استخدامه عدم إمكانية

التبريد لدرجة حرارة تحت الصفر، نظراً لتجمد الماء عند درجة الصفر المئوي. كذلك، يلزم وجود مصدر بخار عند ضغط مرتفع نسبياً لعمل هذا النظام، لذا لا يستخدم إلا في حالة وجود غلاية.

٤-٤ التبريد باستخدام دورة الهواء

تستخدم هذه الدورة الهواء كمائع تبريد (المبرد) في دورة بريتون المعكوسة (دورة بريتون هي واحدة من دورات توليد القدرة). وتتكون الدورة من المكونات الأساسية الآتية، (كما هو مبين في شكل ٤-٤): ضاغط، ومبرد هواء لطرد الحرارة إلى الجو المحيط، وتوربين لتمدد الهواء، وأخيراً مبادل حراري؛ للحصول على التأثير التبريدي عن طريق سحب حرارة من هواء الغرفة، ويستفاد من الشغل الميكانيكي الناتج بالتوربين لتشغيل الضاغط، ويستخدم محرك لإمداد الضاغط بباقي الشغل اللازم لعمل الدورة، وتستخدم الدورة أيضاً مبادلاً حرارياً بين التوربين والضاغط لتحسين الأداء، وتُعرف الدورة الموضحة بالشكل بالدورة المغلقة، حيث يدور الهواء نفسه بالكامل داخل الدورة.

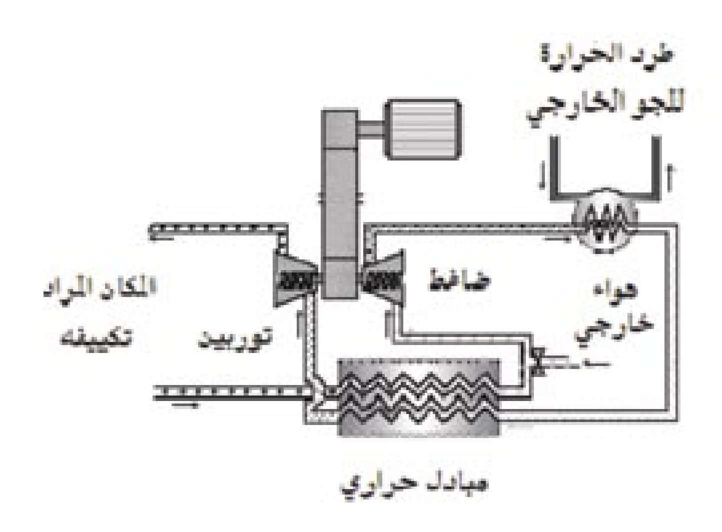


شكل ٤-٤ المكونات الأساسية للتبريد باستخدام دروة الهواء المغلقة

تعمل الدورة المفتوحة كما هو موضح في شكل (٤-٥) على تخفيض عدد المكونات، ويكون ذلك بالاستغناء عن المبادل الحراري لتبريد هواء المكان المكيف، فيصبح

المكان المكيف أحد مكونات الدورة.

وتستخدم دورة تبريد الهواء لتكييف الهواء في الطائرات، حيث تعمل الدورة على ضبط درجة حرارة الهواء بكابينة الركاب، وإمداد الكابينة بالهواء الخارجي اللازم للتهوية، وكذلك على حفظ ضغط الهواء داخل الكابينة. ونظرا لانخفاض كفاية تشغيل الدورة فإنها لم تستخدم حتى الآن في تكييف هواء المباني. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى بتلر [Butler 2001] .



شكل ٤-٥ المكونات الأساسية للتبريد باستخدام دورة الهواء المفتوحة

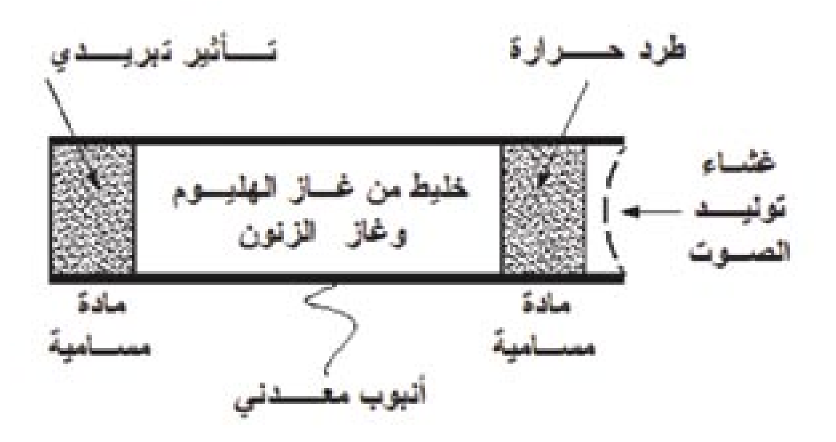
٤-٥ التبريد بدورة إستيرلنج المعكوسة

دورة استيرلنج هي دورة توليد قدرة باستخدام آلة احتراق خارجي، وتستخدم الدورة الهواء أو الهليوم كمائع تشغيل الدورة. وهي دورة معروفة منذ القرن الثامن عشر. وتبعاً لقواعد الديناميكا الحرارية فإنه يمكن توليد تأثير تبريدي عند عكس عمل أي دورة لتوليد القدرة. من هذا المنطلق قامت حديثاً العديد من الأبحاث التي وجدت في دورة استيرلنج المعكوسة مميزات كثيرة تفوق الطرق الأخرى للتبريد. كما وجد الباحثون في دورة استيرلنج المعكوسة مجالاً خصباً للكثير من الأبحاث والبدائل؛ للحصول على تأثير تبريدي من هذه الدورة. ولقد أمكن تجارياً الحصول على تأثير تبريدي عند درجات حرارة منخفضة جداً، وأيضاً تمكن الباحثون من

استخدام دورة استيرلنج المعكوسة بشكل محدود لتكييف الهواء، كما قامت أبحاث أخرى باستخدام دورة استيرلنج لتوليد القدرة لتشغيل دورة استيرلنج المعكوسة لتوليد تأثير تبريدي. إلا أنه لم تنجح هذه الدورة تجارياً حتى الآن لتكييف هواء المباني.

٤-٦ التبريد الصوت حراري

تستخدم هذه الطريقة أنبوب فلزي يحوي خليط من غاز الهليوم وغاز الزينون. والأنبوب مغلق من أحد طرفيه، بينما يوجد على طرفه الآخر غشاء خاص يتذبذب، يعرف بمولد الصوت، كذلك يوجد بالأنبوب مادة مسامية عند كل طرف من طرفيها. ينتقل الصوت الذي يتم توليده عند طرف الأنبوب إلى الطرف الآخر حيث تعكس الموجات الصوتية مرة أخرى عند الطرف المسدود للأنبوب؛ مما ينتج عنه دورات متتالية من الانضغاط والخلخلة لخليط الغازين. وينتج عن انضغاط الخليط حرارة تنتقل إلى المادة المسامية عند طرف الأنبوب من جهة مولد الصوت. أما عند خلخلة الانضغاط فيبرد الخليط مسبباً سحب للحرارة من المادة المسامية عند الطرف المسدود للأنبوب. ويمكن توصيل دورة مائع خلال الطرف المبرد من الأنبوب للحصول على تأثير تبريدي، وتوصيل دورة مائع آخر إلى الطرف الساخن للأنبوب؛ لطرد الحرارة إلى الجو المحيط. ولطريقة التبريد الصوت حراري عدة مميزات، منها:

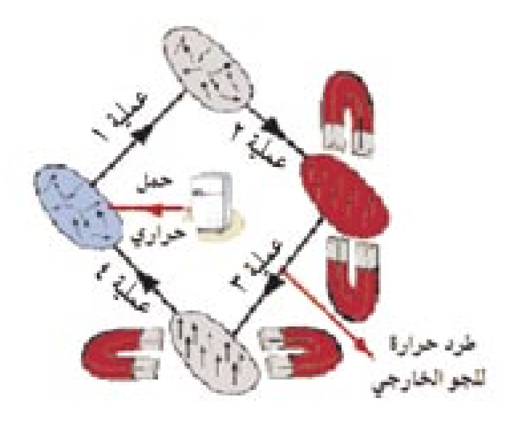


شكل ٤-٦ الفكرة الأساسية للتبريد الصوت حراري

قلة عدد الأجزاء المتحركة، وعدم وجود أي انبعاثات ملوثة للبيئة من هذه الطريقة، ويوضح شكل (٤-٦) الفكرة الأساسية للتبريد الصوت حراري. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى مكارتي [McCarty, 2005] .

٤-٧ التبريد المغناطيسي

تم اكتشاف التبريد المغناطيسي في عام ١٩٢٦م، بواسطة ديباى (Debaye) وجياكيو (Giauque). وتستخدم هذه الطريقة للحصول على درجات حرارة متدنية تقرب من الصفر المطلق. ولقد أمكن حديثاً تطوير هذه التقنية؛ للحصول على تبريد مناسب للاستخدام في الثلاجات المنزلية وتكييف الهواء. وتستخدم هذه الطريقة ظاهرة ما يعرف باسم المغناحرارية، وهي خاصية للأملاح الصلبة القابلة للمغنطة. تستخدم هذه الظاهرة مبردات متوازية المغناطيسية، مثل نترات السيريوم والمغنسيوم، على سبيل المثال. ويتم ذلك بتعريض المبرد إلى مجال مغناطيسي قوي، يعمل على ترتيب الجزيئات ثنائية القطب لتكون متوازية ووضعها في حالة منخفضة للإنتروبيا، مما يسبب طرداً للحرارة من هذه الجزيئات. وبإزالة المجال المغناطيسي، وإعادة الجزيئات ثنائية القطب إلى مستواها المعتاد من الإنتروبيا، يقوم المبرد بسحب الحرارة اللازمة لإعادة الإنتروبيا إلى قيمتها الأولى، وتكون الحرارة المسحوبة عندئذ هي التأثير التبريدي المطلوب. ومن أهم عيوب هذه الطريقة: انخفاض كفايتها، إلا أن من أهم مميزاتها: المحافظة على البيئة.

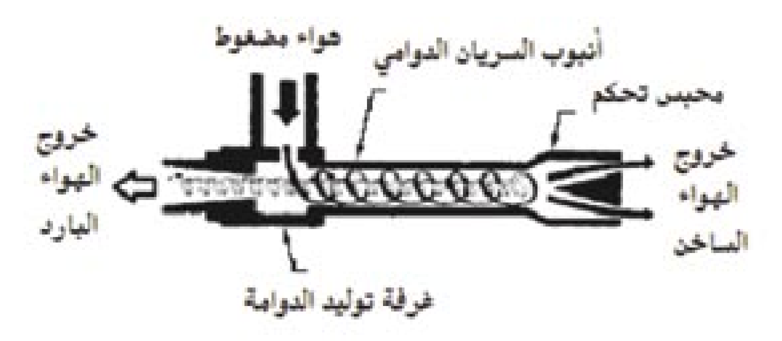


شكل ٤-٧ الفكرة الأساسية للتبريد المغناطيسي

ويوضح شكل (٤-٧) الفكرة الأساسية للتبريد المغناطيسي. وتتكون الدورة، كما ورد من العمليات الأربع الآتية: (١) تعرض المبرد لمجال مغناطيسي، (٢) طرد حرارة من المبرد إلى الجو الخارجي، (٣) إزالة المجال المغناطيسي من على المبرد، (٤) قيام المبرد بسحب حرارة من الوسط المطلوب تبريده.

٤-٨ تبريد أنبوب السريان الدوامي

تعمل طريقة التبريد هنا باستخدام أنبوب به حواجز داخلية؛ لتوجيه السريان خلاله، مع وجود فتحة غير مركزية في أحد أطرافه. ولقد وجد أنه عند إمداد الأنبوب بهواء مضغوط باتجاه التماس لسطح الأنبوب؛ فإن ذلك يسبب سريان الهواء خلال الأنبوب بشكل دوامي (أي دوران الهواء حول مركز الأنبوب) بسرعة دورانٍ يصل إلى مليون لفة في الدقيقة، وتبعاً لقانون بقاء كمية الحركة للهواء (الزخم) فإنه بينما تنخفض كمية الحركة للهواء قرب محور الأنبوب؛ ينتج انخفاض لدرجة الحرارة، وكذلك يلزم أن ترتفع كمية الحركة للهواء قرب سطح الأنبوب؛ مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته، وذلك لضمان بقاء مجموع كمية الحركة للهواء داخل الأنبوب ثابتاً. وينتج عن ذلك فصل الهواء إلى هواء بارد بالقرب من محور الأنبوب، وآخر ساخن بالقرب من السطح الداخلي للأنبوب. يخرج الهواء البارد من أحد طرفي الأنبوب، بينما يخرج الهواء الساخن من الطرف الآخر للأنبوب. ومن أهم عيوب هذه الطريقة: انخفاض كفايتها، إلا أن سهولة التشغيل يجعلها الحل الأمثل



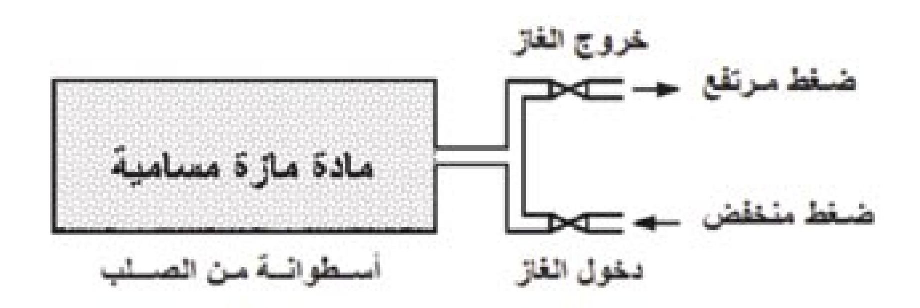
شكل ٤-٨ طريقة العمل لتبريد أنبوب السريان الدوامي

للتبريد الموضعي المحدود، في التطبيقات التي تتضمن درجات حرارة مرتفعة للجو الداخلي. وتمتاز هذه الطريقة أيضاً: بانخفاض الضوضاء الصادرة منها، وأنها صديقة للبيئة، ويوضح شكل(٤-٨) طريقة العمل لتبريد أنبوب السريان الدوامي.

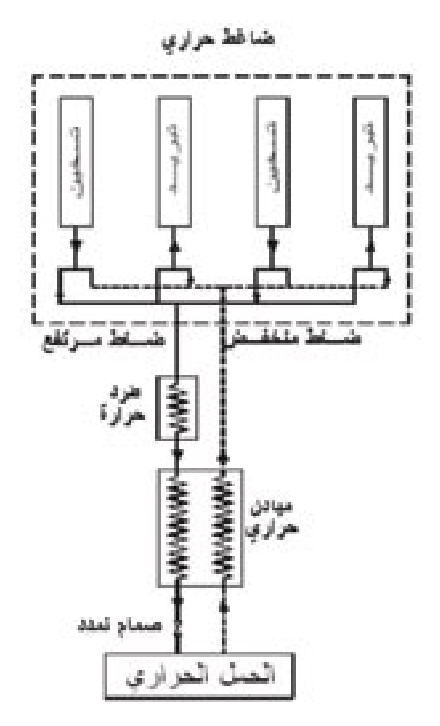
ولقد استخدمت هذه الطريقة حديثاً لتبريد الشيكولاتة في بعض المصانع، كما قامت بعض الشركات بتصنيع سترة بها جهاز تكييف شخصي يعمل بهذه الطريقة، و يرتديه الأفراد عند العمل في ظروف عمل شديدة الحرارة أو شديدة البرودة. كما تستخدم هذه الطريقة أيضاً حالياً لتبريد المعدات واللوحات الكهربائية والإليكترونية في بعض المصانع حيث يتوفر الهواء المضغوط.

٤-٩ تبريد المادة المازة

استخدمت هذه الطريقة لتبريد المكونات الإلكترونية في الأقمار الصناعية، وفي مركبات الفضاء. وتعمل هذه الطريقة باستخدام ضاغط حراري كما هو موضح بشكل (٤-٩). يتكون الضاغط الحراري من أسطوانة من الصلب بها مادة مسامية تُعرف بالمادة المازة وغاز. فعند تسخين الأسطوانة تقل قدرة المادة المازة على الاحتفاظ بالغاز، وينطلق الغاز منها فيرتفع ضغطه داخل الأسطوانة، بينما يؤدي تبريد الأسطوانة إلى زيادة قدرة المادة المازة على امتصاص الغاز؛ مما يقلل من ضغط الغاز داخل الأسطوانة. تتصل الأسطوانة عند طرفها بأنبوب يتفرع إلى فرعين على كل منهما محبس غير مرجع، أحدها لخروج الغاز عند الضغط المرتفع، والآخر لدخول الغاز عند الضغط المنخفض.



شكل ٤-٩ رسم تخطيطي للضاغط الحراري



شكل ٤-١٠ الفكرة الأساسية لدورة تبريد المادة المازة

يتم تبريد وتسخين الأسطوانة في دورات متتابعة بمعدل يتراوح ما بين ١٠ إلى ٢٠ ثانية للدورة الواحدة، مما ينتج عنه دورات من إطلاق الغاز وخروجه عند ضغط مرتفع، من خلال وصلة أنبوب الضغط المرتفع، ثم امتصاصه ودخول الغاز عند ضغط منخفض من خلال وصلة الضغط المنخفض.

تستخدم دورة تبريد المادة المازة الضاغط الحراري السابق، بالإضافة إلى المكونات المعتادة لدورة تبريد الغاز، ويتكون الضاغط الحراري من عدة أسطوانات، كما هو موضح بشكل (٤-١٠)؛ للتغلب على مشكلة بطء عملية تسخين وتبريد الأسطوانة، وما ينتج عنه من تغير معدل انطلاق وامتصاص الغاز، تبعاً لدرجة حرارة المادة المازة، كذلك يساعد استخدام أكثر من أسطوانة بالضاغط على ضمان سريان الغاز من وإلى الضاغط، بمعدل مناسب لاستمرار عمل دورة التبريد.
يخرج الغاز الساخن من الضاغط الحراري عند ضغط مرتفع، حيث يتم تبريده في مبادل حراري لطرد الحرارة إلى الجو المحيط، ويدخل الغاز بعد ذلك إلى صمام التمدد، حيث ينخفض الضغط ودرجة الحرارة، ثم يسري الغاز إلى الحمل الحراري

حيث يقوم الغاز بتبريده. يخرج الغاز من الحمل الحراري إلى الضاغط، حيث يتم امتصاصه بالمادة المازة في الأسطوانات التي يتم تبريدها. وكما هو واضح في شكل (٤-١٠)، تستخدم الدورة كذلك مبادلاً حرارياً بين سريان الغاز عند الضغط المرتفع، وسريان الغاز عند الضغط المنخفض؛ وذلك لتحسين كفاءة تشغيل الدورة. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى ويد [Wade 1993].

وكما هو واضح، تمتاز طريقة تبريد المادة المازة بعدة مميزات، منها: أنها صديقة للبيئة، كما تتميز بعدم وجود أي أجزاء متحركة بها؛ مما يقلل من أعمال الصيانة المطلوبة. أيضاً تمتاز هذه الطريقة بعدم إصدار أي ضوضاء منها. ويعيب طريقة تبريد المادة المازة: أنها لم تنجح تجارياً حتى الآن في توليد تأثير تبريدي يزيد على ٣٠٠ وات.

الفصل الخامس: احتياجات تكييف الهواء

■ تكييف الهواء وفوائده. ■ خواص الهواء الرطب. ■ الراحة الحرارية للإنسان. ■ تكييف الهواء للأغراض الصناعية. ■ عمليات معالجة الهواء (العمليات السيكرومترية).■ نوعية الهواء الداخلي. ■ متطلبات التهوية. ■ شروط التصميم.

٥-١ تكييف الهواء وفوائده

يقصد بتكييف الهواء تغيير حالته للوصول به إلى الحالة المطلوبة بالبيئة الداخلية. ومن الشائع للعامة، تعريف تكييف الهواء بأنه يعني تبريد الهواء، إلا أن هذا التعريف غير صحيح، حيث إن التعريف العام لتكييف الهواء يقصد به: أن يشمل واحدة أو أكثر من العمليات الآتية:

- تسخين الهواء.
- تبريد الهواء.
- تجفيف الهواء.
- ترطيب الهواء.

وتعرف العمليات السابقة بالعمليات السيكرومترية للهواء الرطب، وهي أساس صناعة تكييف الهواء. ويرجع الفضل للتعرف على هذه العمليات، وعلى خواص الهواء الرطب إلى ويليس كاريير (Willis Carrier) الذي قام أيضاً بوضع أول خريطة لحساب خواص الهواء الرطب، التي عرفت فيما بعد بالخريطة السيكرومترية.

يستخدم تكييف الهواء إما بغرض الراحة الحرارية للأفراد، لتوفير بيئة داخلية مريحة للمعيشة عند مزاولة أنشطة مختلفة، أو بغرض توفير بيئة داخلية مناسبة للعمليات الصناعية. وتختلف الظروف الداخلية لهذه البيئة من صناعة إلى أخرى.

ومن فوائد تحسين الظروف الداخلية للبيئة الداخلية الآتي:

- تحسين أداء العاملين؛ نتيجة لخفض معدلات حدوث الأخطاء البشرية.
- تحسين جودة المنتجات والخدمات التي يقوم بها العاملون.
- خفض عدد حوادث العمل.
- خفض معدلات الحالات المرضية للعاملين خاصة ذات علاقة بالجهاز التنفسي.

٥-٢ خواص الهواء الرطب

تعتمد هندسة تكييف الهواء على: التعرف الكامل على خواص الهواء الرطب، والفهم العميق لتغيير هذه الخواص عند انتقال الهواء الرطب من حالة إلى أخرى، وكيفية تغيير هذه الحالة تبعاً للعمليات الحرارية المختلفة التي يتعرض لها هذا الهواء.

والهواء الرطب هو: خليط متجانس من الهواء الجاف وبخار الماء بنسب متفاوتة، تبعاً لما يستطيع الهواء الجاف حمله من بخار الماء. وعليه تعتمد جميع خواص الهواء الرطب؛ على مقدار ما يحمله الكيلوجرام من الهواء الجاف معه من بخار ماء. ويعتمد مقدار ما يمكن للهواء الجاف حمله من بخار الماء؛ على درجة حرارة الهواء، وعلى الفرق بين ضغط البخار فوق سطح الماء والضغط الجزئي لبخار الماء في الهواء الرطب. وكلما زاد هذا الفرق، كان الهواء شرهاً لحمل بخار الماء معه وكلما قل هذا الفرق قلت قابلية الهواء الرطب على حمل المزيد من بخار الماء. فإذا وصل هذا الفرق إلى صفر؛ قيل إن الهواء مشبعاً ببخار الماء. وإذا أصبح هذا الفرق سالباً ـ أي إذا قل ضغط البخار فوق سطح الماء عن الضغط الجزئي لبخار الماء في الهواء ـ تكثف بخار الماء الموجود في الهواء. وفيما يلي عرض لأهم هذه الخواص.

نسبة الرطوبة:

تعرف نسبة الرطوبة بأنها: مقدار بخار الماء بالكيلوجرام المخلوط، مع واحد كيلوجرام من الهواء الجاف؛ لتكوين الهواء الرطب. فيقال، مثلا أن نسبة الرطوبة هي ٠,٠١ كيلوجرام ماء /كيلوجرام هواء جاف. وتتغير نسبة الرطوبة عادة في نظم تكييف الهواء بين ٠,٠٠٧ إلى ٠,٠٢ كيلوجرام بخار ماء/كيلوجرام هواء.

درجة حرارة البصيلة الجافة:

تعرف هذه الدرجة بأنها: درجة الحرارة التي يقرأها ترمومتر زئبقي، إذا كانت بصيلة الزئبق به جافة. ودرجة حرارة البصيلة الجافة للهواء الرطب تعرف عادة بدرجة حرارة الهواء، وهذا هو التعريف الشائع في جميع الأوساط غير العلمية وغير المتخصصة. فعندما يعلن في الجرائد ووسائل الإعلام أن درجة الحرارة هي ٣٠ ^{o}م، يكون المقصود هو درجة حرارة البصيلة الجافة.

درجة حرارة البصيلة المبتلة:

تعرف هذه الخاصية بأنها: درجة الحرارة التي يقرؤها ترمومتر زئبقي مبلل بالماء (دون الإغراق). وتعتمد هذه الدرجة للحرارة على مقدار تشبع الهواء ببخار الماء. فبتبخر الماء الموجود على بصيلة الترمومتر، يقوم هذا الماء بسحب الحرارة اللازمة للتبخير من الهواء، وبالتالي تنخفض درجة حرارته، وكلما كان الهواء أكثر جفافاً كان معدل تبخير الماء الموجود على البصيلة أكثر. وكلما كانت قيمة درجة حرارة البصيلة المبتلة أقل والعكس صحيح، ففي حالة وجود هواء مشبع ببخار الماء، لن يمكن للهواء حمل المزيد من بخار الماء الموجود على بصيلة الترمومتر، عندئذ، تكون درجة حرارة البصيلة المبتلة مساوية لدرجة حرارة البصيلة الجافة للهواء.

درجة حرارة نقطة الندى:

بتبريد الهواء الرطب يصل هذا الهواء إلى حالة التشبع ببخار الماء عند درجة حرارة معينة، وتعرف هذه الدرجة بدرجة حرارة نقطة الندى. وتقل درجة حرارة نقطة الندى للهواء الرطب عن درجة حرارة البصيلة الرطبة له، وهي تقل بدورها عن درجة حرارة البصيلة الجافة له. وتتساوى هذه الدرجات الثلاث للحرارة عندما يكون الهواء مشبعاً ببخار الماء.

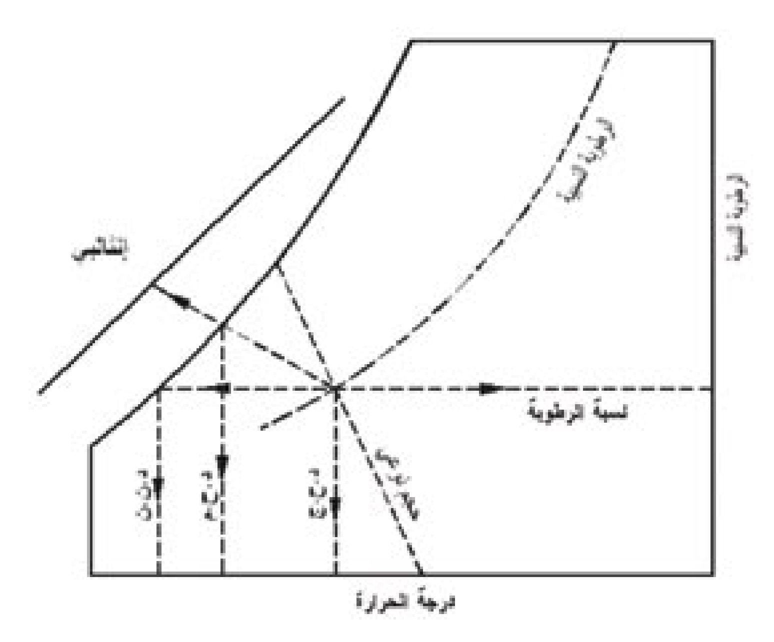
الرطوبة النسبية:

الرطوبة النسبية هي: مقياس لمدى تشبع الهواء الرطب ببخار الماء، فمثلاً إذا كانت الرطوبة النسبية ٤٠٪ فإن ذلك يعني أن الهواء مشبع بما يعادل ٤٠٪ من قدرته على التشبع ببخار الماء عند درجة الحرارة نفسها، وإذا كان الهواء مشبعا ببخار الماء، قيل أن للهواء رطوبة نسبية قدرها ١٠٠٪. وتحسب الرطوبة النسبية بدلالة الضغط الجزئي لبخار الماء به، مقارنة بالضغط الجزئي لبخار الماء بالهواء عند الوصول لحالة التشبع عن درجة حرارتها.

الخريطة السيكرومترية:

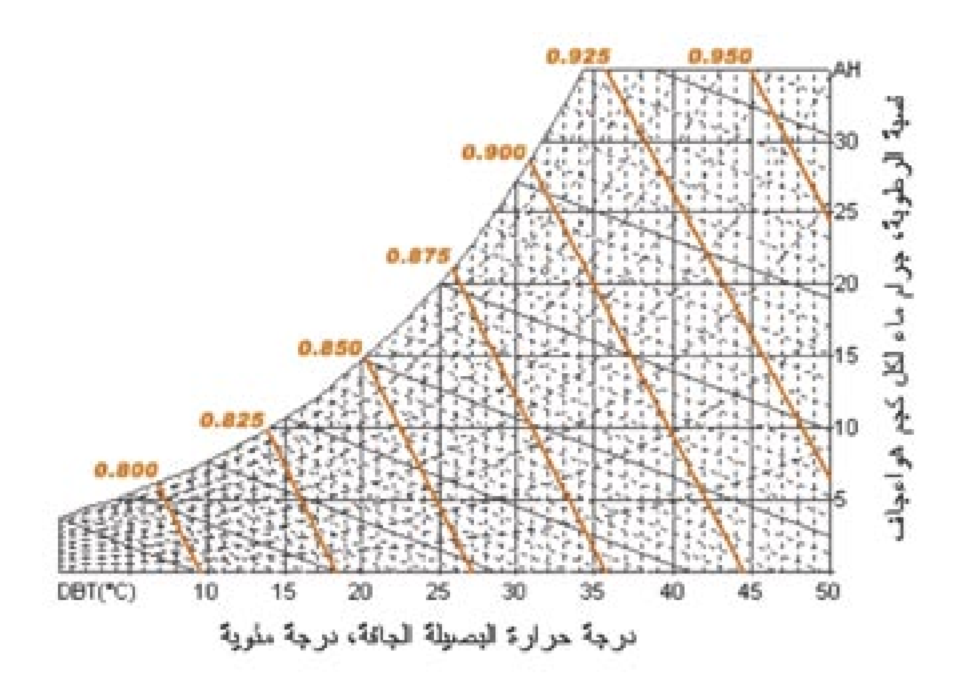
الخريطة السيكرومترية هي: خريطة تُستَخْدم لإيجاد خواص الهواء الرطب عند أي حالة للهواء، كما يمكن استخدام هذه الخريطة أيضاً لتحديد العمليات الحرارية التي يتعرض لها الهواء الرطب عند الانتقال من حالة إلى أخرى. ويبين شكل (٥-١)

رسماً توضيحياً لهذه الخريطة، وكيفية إيجاد الخواص المختلفة للهواء الرطب. ويجب الإشارة هنا إلى أن درجة حرارة البصيلة الجافة (د ب ج)، ودرجة حرارة البصيلة المبتلة (د ب م)، ودرجة حرارة نقطة الندى (د ن ن)، تُقرأ جميعاً على المحور الأفقي، كما هو موضح على الخريطة بشكل (٥-١).



شكل ٥-١ توضيح الخواص المختلفة في خريطة الهواء الرطب

كما يوضح شكل (٥-٢) صورة لهذه الخريطة. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى أشري [ASHRAE, 2005] .



شكل ٥-٢ الخريطة السيكرومترية لخواص الهواء الرطب

٥-٣ الراحة الحرارية للإنسان

يقصد بالراحة الحرارية: شعور الإنسان بالراحة عند وجوده في ظروف معينة من البيئة الداخلية. يمكن أيضاً تعريف الراحة الحرارية بأنها: غياب الشعور بعدم الراحة، أو أنها حالة المخ عند الرضا بحالة الجو المحيط.

يقوم الجسم بتوليد حرارة كنتيجة لنشاطه الأيضي، وعادة يجب أن يقوم الجسم بطرد هذه الحرارة إلى الجو المحيط؛ ليصل الجسم إلى حالة الاتزان الحراري اللازمة للمحافظة على درجة حرارته ثابتة. يعمل المخ على تثبيت درجة حرارة الجسم عند درجة ٣٧ ^{o} م، بصرف النظر عن درجة الحرارة المحيطة، ويكون ذلك عن طريق التحكم في الحرارة التي يكتسبها الجسم أو يفقدها عن طريق التبادل مع الجو المحيط. إلا أنه في الظروف غير الملائمة للجو المحيط ترتفع وتنخفض درجة حرارة الجسم بقدر محدود؛ مما قد يؤثر على سلامة الجسم إذا تخطى هذا القدر الحدود الآمنة للجسم. عند مثل هذه الظروف يشعر الإنسان بعدم الراحة الحرارية، حيث يعمل الجسم بمشقة لتثبيت درجة حرارته. بينما يكون الجسم عند

الراحة الحرارية، عندما يفقد الجسم مقداراً مماثلاً لما يتولد به من حرارة، دون بذل جهد لضبط درجة حرارة الجسم.

العناصر المؤثرة على الراحة الحرارية:

هناك العديد من العناصر التي تؤثر تأثيراً مباشراً في الراحة الحرارية للإنسان. وبعض هذه العناصر ناتج عن البيئة الداخلية، وتعرف بالعناصر البيئية. وعليه يمكن التحكم في هذه العناصر عن طريق تصميم مناسب لنظام تكييف الهواء الذي يتحكم في هذه البيئة. أما البعض الآخر لهذه العناصر فلا علاقة له بالبيئة الداخلية. ومن العناصر البيئية التي تؤثر على الراحة الحرارية الآتي:

- درجة حرارة الهواء المحيط.
- درجة الحرارة المتوسطة لإشعاع الأسطح المحيطة.
- رطوبة الهواء.
- سرعة الهواء.

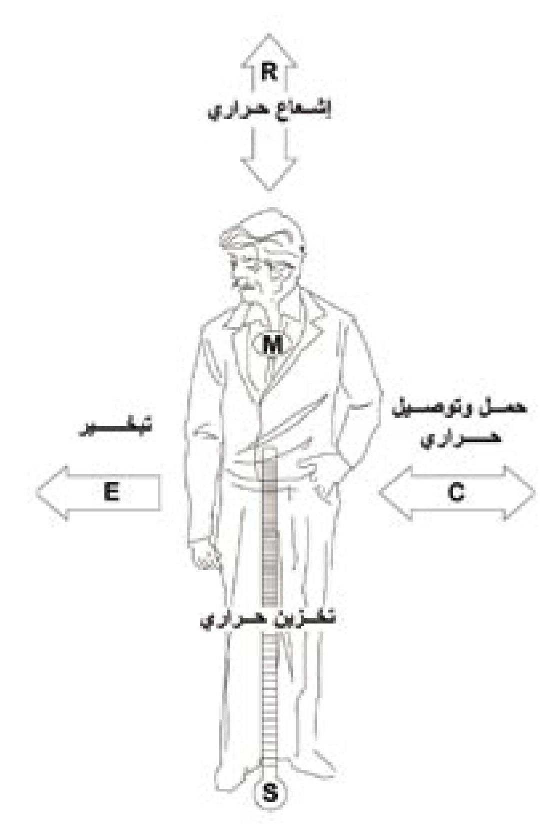
ومن العناصر غير البيئية التي تؤثر على الراحة الحرارية مايلي :

- الملابس التي يرتديها الإنسان.
- النشاط الذي يقوم به الإنسان.

وفيما يلي استعراض تأثير كل من العناصر السابقة على الراحة الحرارية للإنسان، من خلال الاتزان الحراري للجسم. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى أشري [ASHRAE, 2005].

الاتزان الحراري للجسم:

يتعرض الجسم للتبادل الحراري مع الجو المحيط به في ثلاثة صور، هي: البخر، والحمل الحراري، والإشعاع. ويمثل انتقال الحرارة بالبخر دائما؛ فقدان للحرارة من الجسم، بينما يفقد أو يكسب الجسم حرارة بالحمل أو الإشعاع، تبعا لفرق درجة حرارة الجلد عن الهواء المحيط، أو عن درجة الحرارة المتوسطة لأسطح الإشعاع.



شكل ٥-٣ الاتزان الحراري للجسم

يقوم الجسم بفقد بعض الحرارة إلى الجو المحيط بالبخر عن طريق العرق من سطح الجلد، بالإضافة إلى بخار الماء الخارج من الجسم مع التنفس. ويقوم الجسم - كذلك - بتبادل حرارة بالحمل الحراري مع الجو المحيط ويفقد الجسم الحرارة إذا كانت درجة حرارة الجو المحيط أقل من درجة حرارة سطح الجسم، بينما يكتسب الحرارة إذا كانت درجة حرارة الجو المحيط أكثر من درجة حرارته، كذلك يفقد الجسم الحرارة بالإشعاع إذا كانت درجة حرارة الجسم أكبر من درجة الحرارة المتوسطة لإشعاع الأسطح المحيطة. ويبين شكل (٥-٣) الاتزان الحراري للجسم.

وتؤثر الملابس بشكل كبير على معدل الحرارة المتبادلة بين الجسم والبيئة المحيطة به، حيث تعمل الملابس كمقاومة لانتقال الحرارة بالحمل والإشعاع. ويقل معدل البخر من الجلد أيضاً بزيادة المساحة المغطاة من الجلد، وكذلك كلما قلت مسامية الملابس المستخدمة.

تعتمد الحرارة المتولدة في الجسم على نوع النشاط الذي يقوم به الإنسان، فيكون هذا النشاط أقل ما يمكن في حالة النوم، ثم ترتفع قيمة الحرارة المتولدة بمعدلات مختلفة تبعاً لنوع النشاط الذي يمارسه الإنسان، للعمل أو الرياضة أو غيرها. وتعطي المراجع المختلفة معدلات الحرارة المتولدة بالجسم للأنشطة المختلفة للإنسان. وبالرجوع إلى هذه المراجع؛ وجد أن أكبر قدر من الحرارة يتولد بالجسم عند صعود السلم. وبناءً على ذلك يحتاج الإنسان إلى فقد معدلات كبيرة للحرارة، عند ممارسة نشاط رياضي، أو القيام بعمل شاق، مقارنة بشخص يقوم بأعمال خفيفة، أو في حالة استرخاء عند وجودهما في الظروف البيئية نفسها. وبالتأكيد يؤثر مقدار المعدل المتولد للحرارة بالجسم على الاتزان الحراري له. ومن ثم على الراحة الحرارية له. فيحتاج الشخص الذي يعمل في أعمال شاقة إلى بيئة داخلية لها درجة حرارة منخفضة نسبياً، عن تلك التي يحتاجها شخص آخر في حالة استرخاء أو يعمل أعمالاً خفيفة. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى أشري [ASHRAE, 2005].

٥-٤ تكييف الهواء للأغراض الصناعية

يستخدم تكييف الهواء أيضاً للتحكم في البيئة الداخلية في صالات الإنتاج، للعمليات الصناعية التي تتطلب ظروفاً مختلفة عن احتياجات الراحة الحرارية للموجودين بهذه الصالات. حيث تختلف ظروف التشغيل المطلوبة من حيث درجة الحرارة والرطوبة النسبية بشكل متباين. ويبين جدول (٥-١) أمثلة لبعض العمليات الصناعية والشروط المطلوبة في هذه العمليات [ASHRAE 2003].

جدول ٥-١ أمثلة لشروط البيئة الداخلية المطلوبة لبعض العمليات الصناعية [ASHRAE 2003]

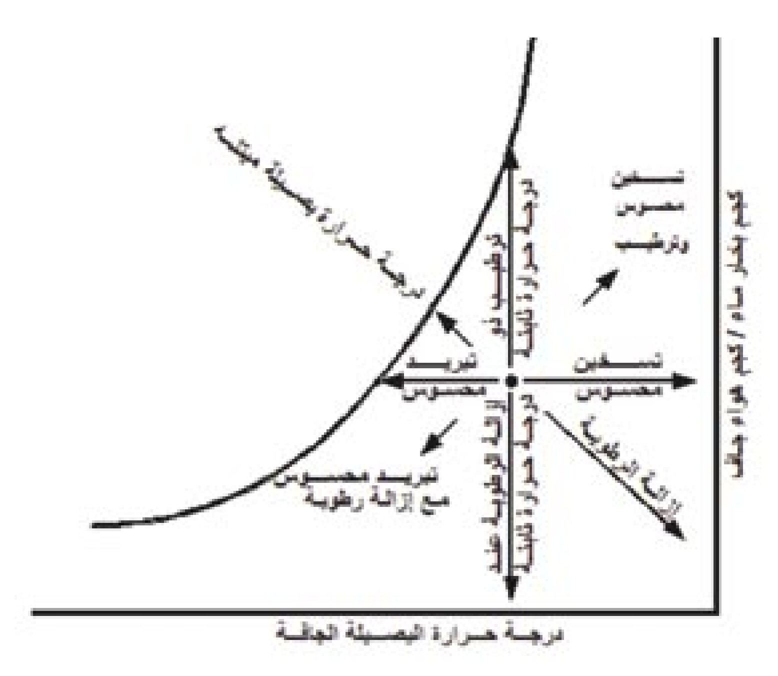
التطبيق والعملية	درجة الحرارة °م	الرطوبة النسبية ٪
صناعة السيراميك: صب القوالب	٢٧	٦٠ إلى ٧٠
صناعة محولات وملفات أشعة إكس	٢٢	١٥
صيانة محولات كهربائية عالية الجهد	٢٦	٥
صناعة الصمغ	٢٥	٣٣
تجفيف الجلود	٢٢ إلى ٥٢	٧٥
صقل العدسات (بصريات)	٢٧	٨٠
صناعة أعواد الثقاب	٢٢	٥٠
غرف الدهان بالرش	١٦ إلى ٣٢	٨٠
تعبئة الشاي	١٨	٦٥
صناعة البلاستيك: التشكيل الحراري للقوالب	٢٧	٢٥ إلى ٣٠
تغليف الأدوات الجراحية بالمطاط	٢٤ إلى ٢٧	٢٥ إلى ٣٠
صناعة دخان التبغ: لف السجائر	٢١ إلى ٢٤	٥٥ إلى ٦٥

٥-٥ عمليات معالجة الهواء (العمليات السيكرومترية)

يعالج الهواء بعدة عمليات حرارية ليكون مناسباً للاستخدام في تكييف الهواء، وتختلف هذه العمليات من نظام لآخر تبعاً لاحتياجات التطبيق الموجود في المكان المكيف. تتكون هذه العمليات من واحدة أو أكثر من العمليات الأربعة الآتية:

- تسخين محسوس.
- تبريد محسوس.
- تجفيف الهواء (إزالة رطوبة).
- ترطيب الهواء.

يقصد بالتسخين أو التبريد المحسوس: تسخين أو تبريد الهواء دون ترطيبه أو تجفيفه، ويعني ذلك تغير درجة حرارة الهواء مع ثبات محتوى الرطوبة به (أي ثبات



شكل ٥-٤ تمثيل العمليات الحرارية المختلفة المستخدمة لمعالجة الهواء على الخريطة

نسبة الرطوبة). ويتم تسخين الهواء عادة بتمريره على سخان كهربائي، أو على ملف تسخين باستخدام بخار ماء ساخن أو ماء ساخن. أما التبريد فيتم بتمرير الهواء على ملف تبريد لآلة تبريد، أو ملف تبريد بماء مثلج. ويشترط في حالة التبريد المحسوس عدم تبريد الهواء إلى درجة حرارة تقل عن درجة حرارة نقطة الندى لهذا الهواء. أما إذا تم التبريد تحت هذه الدرجة؛ فإنه يتم تجفيف الهواء (إزالة رطوبته) بالإضافة إلى تبريده. وتستخدم هذه الطريقة لإزالة رطوبة الهواء في معظم الحالات، إلا أن هذه الطريقة لا تستخدم في الأحوال التي تحتاج إلى الوصول بالهواء إلى درجات منخفضة من محتوى الرطوبة به، عندئذ يجب استخدام طريقة أخرى. وأكثر الطرق شيوعاً هي تمرير الهواء على مادة كيميائية تعمل على امتصاص بخار الماء من الهواء أي تجفيفه. وتعرف هذه المواد الكيميائية بالمواد المازة، ومنها على سبيل المثال لا الحصر سيليكات الجيل، وكلوريد الكالسيوم، وغيرها . وهناك العديد من المعدات الخاصة بذلك التي تستخدم مواد كيمائية يتم استرجاعها (أي تجفيفها) بصفة مستمرة؛ لضمان عدم تشبعها ببخار الماء، وبالتالي

انخفاض كفائتها لتجفيف الهواء.

يتم ترطيب الهواء برش بخار ماء أو رذاذ الماء في الهواء، مما يعمل على رفع محتوى الماء به. ويصحب عملية ترطيب الهواء تسخينه أو تبريده تبعاً لحالة البخار، أو رذاذ الماء المستخدم. ويوضح شكل (٥-٤) تمثيل للعمليات الحرارية المختلفة المستخدمة لمعالجة الهواء على الخريطة السيكرومترية. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى أشري [ASHRAE, 2005].

٥-٦ نوعية الهواء الداخلي

كماورد سابقاً فإن بناء نظم تكييف الهواء في المباني يهدف إلى تحسين الراحة الحرارية للشاغلين لهذه المباني. إلا أنه لوحظ أن بعض المباني المكيفة قد تسبب أمراضاً لنسبة من شاغليها، فيما يعرف باسم وباء المبنى المريض. وأعراض هذا الوباء هي: الشعور بالتعب والإرهاق وأرق مستمر عند محاولة النوم، وصداع، وجفاف العين، ورشح مستمر بالأنف، وضيق في التنفس يصل في بعض الحالات إلى أزمات ربوية، وتوتر وعصبية ظاهرة عند التعامل مع الآخرين. إلا أن هذه الأعراض المرضية تزول فور مغادرة الأشخاص للمبنى المكيف. ولقد عرفت هذه الظاهرة في أواخر عام ١٩٧٨م، وفسرت فيما بعد بسوء نوعية الهواء الداخلي في المبنى نتيجة ضعف التهوية الطبيعية، واستخدام مواد ضارة بالصحة في بناء المبنى وتشطيبه من الداخل، وفي النظم الموجودة به، مثل: الاسبستوس، على سبيل المثال لا الحصر، وانبعاث غازات ضارة بالصحة من داخل المبنى، مثل: دخان السجاير، أو من العديد من المواد الكيميائية المستخدمة في النظافة أو المنبعثة من المعدات الموجودة بالمبنى، مثل:ماكينات التصوير، وأيضاً نتيجة الملوثات الخارجية، مثل الأتربة: والغازات، والأبخرة، والكائنات المجهرية، والبكتريا، والفيروسات التي تدخل إلى المبنى دون عمل اللازم لإزالة هذه الملوثات. ويعتبر عدم التنظيف الدوري لمعدات نظام تكييف الهواء؛ أحد الأسباب التي تؤدي إلى وباء المبنى المريض. فيسبب عدم التنظيف الدوري لكل من: مرشحات الهواء، وملفات التبريد، وصواني تجميع الماء المكثف أسفل ملفات التبريد، ومجاري الهواء؛ وجود مرتعٍ خصبٍ تكاثر الكائنات المجهرية والبكتريا والفيروسات.

يعزى ضعف التهوية الطبيعية بالمبنى؛ إلى الرغبة الملحة في خفض تكاليف تشغيل نظام تكييف الهواء، عن طريق خفض مقدار الهواء الخارجي الداخل إلى المبنى من خلال نظام تكييف الهواء، مما يكون له أثر واضح على خفض تكاليف استهلاك الطاقة الكهربائية. وأيضاً بانخفاض كفاية ملفات التبريد في وحدات مناولة الهواء، أو بانخفاض أداء آلات التبريد بالتقادم، أو سوء وضعف مستوى الصيانة، أو زيادة حمل التبريد للمبنى عن القيمة التي تستطيع المعدات إعطائها، يقوم مشغلو هذه المعدات بتخفيض مقدار التهوية الطبيعية لتعويض النقص في التبريد. ومن الأسباب الأخرى لضعف التهوية، استخدام مداخل الهواء الخارجي بالقرب من مخارج العادم من المبنى؛ مما يسمح بإعادة العادم مرة أخرى إلى المبنى.

وللمحافظة على مستوى مقبول لنوعية الهواء الداخلي، يلزم أخذ الآتي في الحسبان: إمداد الغرف بالقدر الكافي من الهواء الخارجي للتهوية الطبيعية، وإزالة مصادر التلوث الداخلي من الغرف، أو استبداله بمصادر أخرى لا يصدر عنها ملوثات، أو عزلها عن باقي الغرفة، وترشيح هواء الغرفة بطريقة مستمرة وبمستوى مقبول وذلك بتدوير هواء الغرفة بمعدلات مناسبة خلال مرشحات الهواء، أو استبدال الهواء بهواء خارجي بمعدلات كافية.

٥-٧ متطلبات التهوية

يحدد معدل التهوية الخارجية اللازمة للغرفة بناء على تحقيق تركيز الأكسجين عند مستوى مقبول للشاغلين للغرفة، وتحقيق المستوى المطلوب لضغط الهواء بالغرفة مقارنة لما يجاورها من الأماكن، وكذلك، تبعاً لاحتياج بعض المعدات أو الأجهزة الموجودة بالغرفة. ويحدد معدل إمداد الغرفة بالهواء الخارجي؛ للمحافظة على تركيز الأكسجين بها، تبعاً للمتوقع لتركيز ثاني أكسيد الكربون بالغرفة. ويعتمد ذلك التركيز على الحد الأقصى المتوقع لعدد الأشخاص بالمكان والنشاط الذي يقومون به. ويوضح جدول (٥-٢) توصية للحد الأدنى اللازم للتهوية في التطبيقات المختلفة تبعاً لتوصيات جمعية آشري (جمعية المهندسين الأمريكيين للتدفئة والتبريد وتكييف الهواء).

يتم تحديد احتياجات الغرفة؛ بغرض المحافظة على ضغط الهواء بالغرفة، عند

مستوى معين تبعاً للغرض من استخدام الغرفة. وبناءً على هذا الاستخدام تصمم الغرفة ليكون لها ضغط موجب (أي أعلى عما يجاورها من غرف)؛ مما يعني تسرب الهواء منها إلى ما يجاورها من أماكن، أو ضغط سالب (أي أقل من ما يجاورها من غرف)، مما يعني تسرب الهواء إليها مما يجاورها من أماكن. وبناءً على هذا التعريف واستخدام الغرفة، يقوم المصمم بتحديد احتياج الغرفة من تصميم نظام تكييف الهواء، أي السماح بتسرب هوائها إلى خارجها، أوتسرب الهواء من خارجها إليها. فمثلاً تصمم جميع دورات المياه، والمطابخ، وغرف العزل الطبي بالمستشفيات عند ضغط هواء سالب، لمنع تسرب الهواء من هذه الغرف إلى الغرف والأماكن الأخرى بالمبنى؛ لمنع انتشار الهواء الملوث أو الروائح غير المقبولة في المبنى. وتصمم غرف الطعام وغرف العمليات في المستشفيات، ومعظم الغرف في المبنى عند ضغط موجب لمنع أي هواء ملوث أو لم يتم ترشيحه بدرجة مناسبة من التسرب إليها من الأماكن المحيطة بها.

جدول ٥-٢ الحد الأدنى لاحتياجات التهوية في بعض التطبيقات [ASHRAE 1999]

التطبيق المستخدم	معدل الهواء الخارجي	
صالة طعام	١٠,٠	لتر/ث. لكل شخص
مطبخ	٨,٠	لتر/ث. لكل شخص
غرف النزلاء بالفنادق	١٠,٠	لتر/ث. لكل غرفة
مكتب	١٠,٠	لتر/ث. لكل شخص
غرفة اجتماعات	١٠,٠	لتر/ث. لكل شخص
محلات تجارية	٨,٠	لتر/ث. لكل شخص
صالة مغلقة للألعاب الرياضية	١٣,٠	لتر/ث. لكل شخص
قاعة محاضرات أو فصل دراسي	٨,٠	لتر/ث. لكل شخص
مكتبة	٨,٠	لتر/ث. لكل شخص
غرف المرضى بالمستشفيات	١٣,٠	لتر/ث. لكل شخص
غرف عمليات بالمستشفيات	١٥,٠	لتر/ث. لكل شخص
غرفة معيشة بمنزل	١٥,٠	لتر/ث. لكل غرفة
مواقف مغلقة للسيارات	٧,٥	لتر/ث. لكل متر مربع

٥-٨ شروط التصميم

هناك عدة شروط يجب توفرها ليحقق نظام التكييف الهدف من إنشائه، وتختلف هذه الشروط تبعاً لاستخدام كل غرفة وشروط البيئة الداخلية المطلوبة فيها. فمثلاً تختلف احتياجات البيئة الداخلية، التي تهدف إلى تحقيق الراحة الحرارية لشاغلي هذه الغرفة عن احتياجات البيئة الداخلية الخاصة بعملية إنتاج صناعية ولمعمل أو منطقة أبحاث . وتختلف أيضا احتياجات الراحة الحرارية من غرفة إلى أخرى، تبعاً للنشاط الإنساني في الغرفة. وبناءً على ذلك: تختلف شروط التصميم في المكاتب عنها في المنازل أو الأسواق التجارية وعنها في صالة إنتاج أدوية. والإجابة على الأسئلة الآتية، يُعرِّف شروط تصميم و بناء أي نظام لتكييف الهواء: هل من المطلوب التحكم في درجة الحرارة؟ وإن كانت الإجابة نعم، ما هي درجة الحرارة المطلوب تحقيقها بالغرفة؟ هل من المطلوب التحكم في الرطوبة النسبية بالغرفة؟ وإن كانت الإجابة نعم، ما هي الرطوبة النسبية المطلوب تحقيقها بالغرفة؟ هل من المطلوب التحكم في درجة نظافة الغرفة؟ وإن كانت الإجابة نعم، ما هي درجة النظافة المطلوبة؟ هل من المطلوب التحكم في ضغط الهواء بالغرفة؟ وإن كانت الإجابة نعم، ما هو مستوى فرق الضغط المطلوب عن الأماكن المحيطة بالغرفة؟

ويوضح جدول ٥-٣ بعض الأمثلة لشروط التصميم في تطبيقات مختلفة، ويبين الجدول شروط درجة الحرارة والرطوبة النسبية صيفاً وشتاءً، كما يبين الجدول أيضاً متطلبات دوران الهواء، أي معدل دوران حجم الهواء بالغرفة لكل ساعة.

جدول ٥-٣ أمثلة لشروط التصميم في بعض التطبيقات

التطبيق	صيفا درجة الحرارة درجة مئوية	الرطوبة النسبية ٪	شتاء درجة الحرارة درجة مئوية	الرطوبة النسبية ٪	دوران الهواء مرة/ ساعة
مطعم	٢٣ إلى ٢٦	٥٥ إلى ٦٠	٢١ إلى ٢٣	٢٠ إلى ٣٠	٨ إلى ١٢
مطابخ	١٩ إلى ٣١		٢١ إلى ٢٣		١٢ إلى ١٥
مكاتب إدارية	٢٣ إلى ٢٦	٥٠ إلى ٦٠	٢١ إلى ٢٣	٢٠ إلى ٣٠	٤ إلى ١٠
متاحف ومكتبات (دون المقتنيات)	٢٠ إلى ٢٢	٤٠ إلى ٥٥	٢٠ إلى ٢٢	٤٠ إلى ٥٥	٨ إلى ١٢
مراكز التليفونات (سنترالات)	٢٢ إلى ٢٦	٤٠ إلى ٥٠	٢٢ إلى ٢٦	٤٠ إلى ٥٠	٨ إلى ٢٠
(إستوديوهات الإذاعة والتليفزيون)	٢٣ إلى ٢٦	٤٥ إلى ٥٥	٢١ إلى ٢٣	٤٠ إلى ٥٠	١٥ إلى ٤٠
صالة سفر في مطار	٢٣ إلى ٢٦	٤٠ إلى ٥٥	٢٣ إلى ٢٦	٣٠ إلى ٤٠	٨ إلى ١٢
مواقف مغلقة للسيارات	٢٧ إلى ٣٨		٤ إلى ١٣		٤ إلى ٦

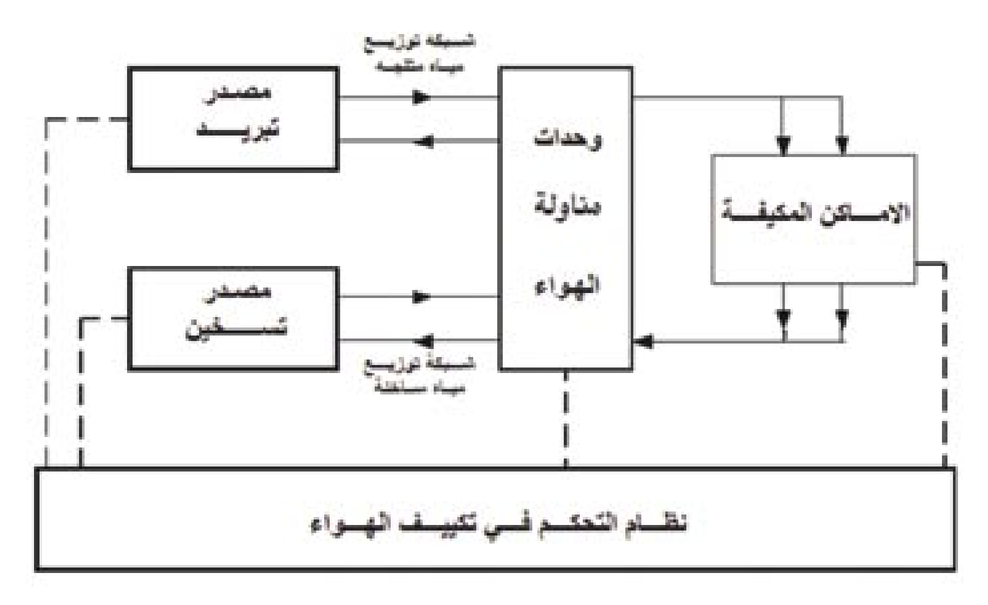
الفصل السادس: مكونات نظم تكييف الهواء

■ وحدات مناولة الهواء. ■ مرشحات الهواء. ■ ملفات التبريد وملفات التسخين.
■ المراوح. ■ مجاري الهواء. ■ مخارج ومداخل الهواء. ■ ماكينات التبريد.
■ ماكينات التسخين. ■ أبراج التبريد.

يتكون نظام تكييف الهواء تبعاً للتطبيق المستخدم من واحدة أو أكثر من المكونات الآتية :

١. مصدر تسخين أو مصدر تبريد.
٢. أنابيب توزيع الماء المثلج أو الماء الساخن.
٣. وحدات مناولة الهواء.
٤. مجاري توزيع الهواء إلى الأماكن المختلفة بالمبنى، وعودة الهواء إلى وحدات مناولة الهواء.
٥. مخارج ومداخل الهواء المكيف إلى ومن الأماكن المكيفة.
٦. نظام تحكم لتشغيل المكونات السابقة بحسب الاحتياج ولعمل اللازم عند تغيير العوامل الخارجية التي تؤثر على التشغيل.

ويوضح شكل(٦-١) رسماً توضيحياً لمكونات نظام تكييف الهواء. وبالطبع لا يحوي كل نظام جميع المكونات السابقة، ولكن تتغير المكونات تبعاً للتصميم المستخدم، والأسس الهندسية التي تم تصميمه عليها. وقد يحوي النظام جميع المكونات السابقة، كما هو الحال في العديد من المشروعات المميزة، كفنادق الخمسة نجوم، والمباني الإدارية المميزة، والمستشفيات الكبيرة وغيرها. ويقدم الفصل الحالي عرضاً بشكل مبسط للبنود من عاليه، مع عرض لبعض البدائل المتاحة لكل مكون. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى أشري [ASHRAE, 2004].



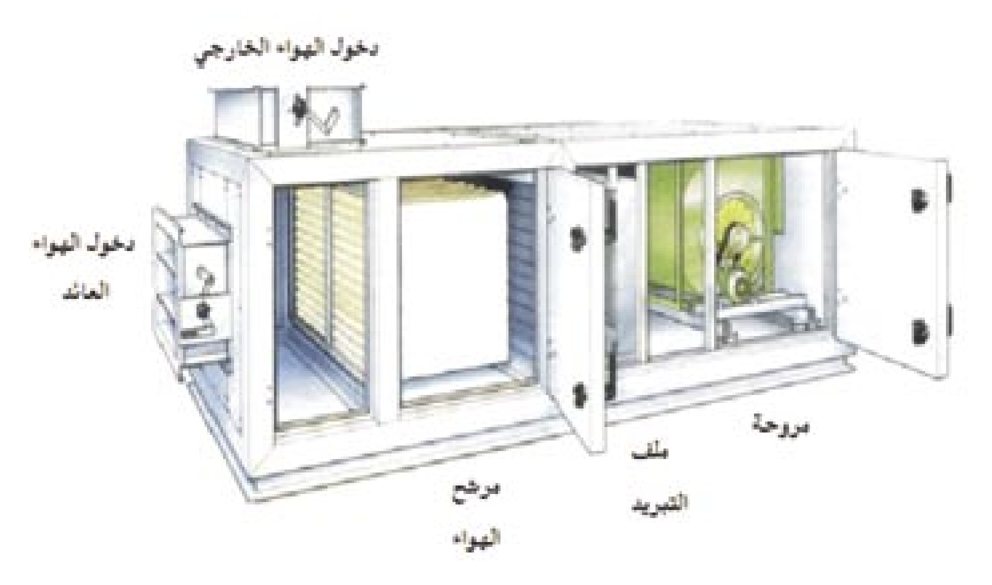
شكل ٦-١ مكونات نظم تكييف الهواء

٦-١ وحدات مناولة الهواء

وحدات مناولة الهواء هي معدات تعمل على معالجة الهواء بطريقة معينة تبعاً لاحتياجات التصميم. وتقوم هذه الوحدات بواحدة أو أكثر من العمليات الآتية:

- ترشيح الهواء وإزالة الملوثات منه.
- تبريد أو تسخين الهواء.
- تجفيف أو ترطيب الهواء.
- رفع ضغط الهواء.

لذا تتكون وحدات مناولة الهواء من عدة مقاطع، يختص كل مقطع منها بواحدة من العمليات السابقة. ويقوم المصنعون بتجميع هذه المقاطع بالترتيب الذي يراه مصمم نظام التكييف، للحصول على الظروف الحرارية الداخلية التي صمم النظام من أجلها، وأيضاً حتى يستطيع نظام التكييف تنقية الهواء من الملوثات العالقة به بالمستوى المطلوب، وكذلك لضمان سريان الهواء بالمعدل المطلوب. وقد تحوي وحدة مناولة الهواء بعض المقاطع من دون أي معدات بها؛ لتسهيل صيانة مقاطع أخرى من الجهات الأمامية والخلفية.



شكل ٦-٢ وحدة مناولة هواء نمطية

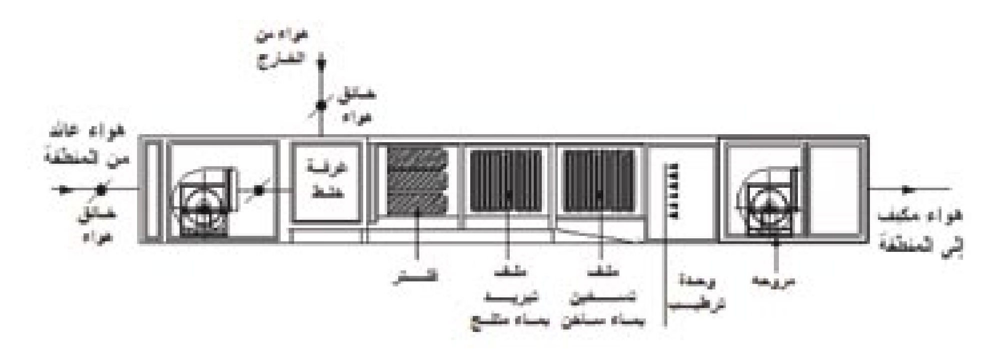
يوضح شكل (٦-٢) إحدى وحدات مناولة الهواء. وتتكون هذه الوحدة بحسب ترتيب اتجاه السريان من الأجزاء الآتية: خانق دخول الهواء الخارجي، وخانق دخول الهواء الراجع من المكان المكيف، وغرفة خلط الهواء الخارجي مع الهواء العائد من المكان المكيف، ومرشح لإزالة الملوثات الموجودة في الهواء الخارجي، والهواء العائد من المكان المكيف، وملف تبريد باستخدام ماء ثلج لتبريد الهواء، ومروحة لدفع الهواء إلى المكان المكيف، وسحب الهواء الخارجي والهواء العائد من المكان المكيف. ويعتبر المثال الموضح في شكل (٦-٢) نموذجاً نمطياً لوحدة مناولة هواء تستخدم لتكييف الهواء صيفاً للمكاتب والمنازل وغيرها.

ويوضح شكل (٦-٣) نموذجاً آخر لوحدة مناولة هواء تستخدم في بعض التطبيقات الصناعية. ويلاحظ في هذه الوحدة إضافة ملف تسخين للهواء، ومرطب للهواء، ومروحة لسحب الهواء العائد.

وحدة الملف المروحية:

وحدة الملف المروحية هي وحدة مناولة هواء صغيرة، تشبه وحدة مناولة الهواء التي وردت سابقاً. تستخدم هذه الوحدة عادة لخدمة غرفة واحدة أو جزء من غرفة، وهى تستخدم لتكييف هواء المكاتب والمساكن. توضع وحدات الملف المروحية فوق

السقف المستعار للغرفة، أو داخل الغرفة سواء على الأرض أو أعلى الحائط.كذلك، توضع الوحدة في بعض الأحيان خارج الغرفة، ولكن على مقربة منها، حيث يمكن إمداد الغرفة بالهواء الذي تم معالجته في وحدة الملف المروحية بواسطة مجرى هواء قصير.

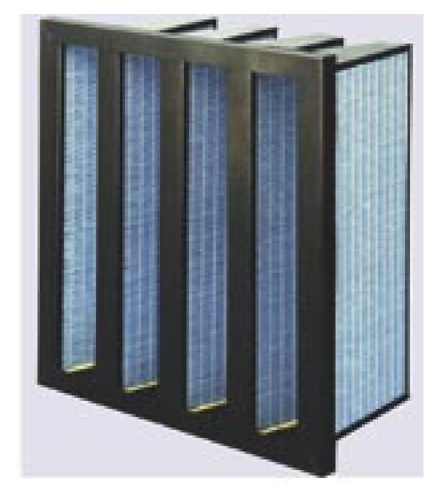


شكل ٦-٣ نموذج لوحدة مناولة هواء بها مروحتان وملف تبريد وملف تسخين ومرطب

٦-٢ مرشحات الهواء

تستخدم مرشحات الهواء (الفلاتر) لتنقية الهواء من الملوثات العالقة به، سواء كان هذا الهواء من خارج المبنى، ويحمل معه الملوثات الموجودة في الجو الخارجي، أو هواء عائد من المبنى ويحمل معه الملوثات الناتجة من مصادر داخل المبنى. وتشمل هذه الملوثات المواد الصلبة العالقة به من الأتربة، والدخان، والشعر، وبقايا المخلفات الآدمية، والحيوانية والنباتية، وغيرها، وتتكون معظم مرشحات الهواء من أنسجة مسامية من البلاستيك، أو البوليستر، أو الصوف الزجاجي، تسمح بسريان الهواء خلالها مما يعمل على حجز الملوثات العالقة به. وتستخدم هذه المرشحات عادة حتى تتسخ ويلزم استبدالها بأخرى، أو تنظيفها إذا كان نوعها يسمح بذلك. كما يمكن لبعض أنواع المرشحات تنقية الهواء من الغازات، والبكتريا، والفيروسات.

يتم اختيار المرشحات تبعاً لنوع الملوثات المطلوب حجزها من الهواء، وكفاية حجزها للملوثات.



المرشحات الحقيبية



مرشحات الطييات

شكل ٦-٤ نماذج لمرشحات الهو اء المستخدمة في نظم تكييف الهواء

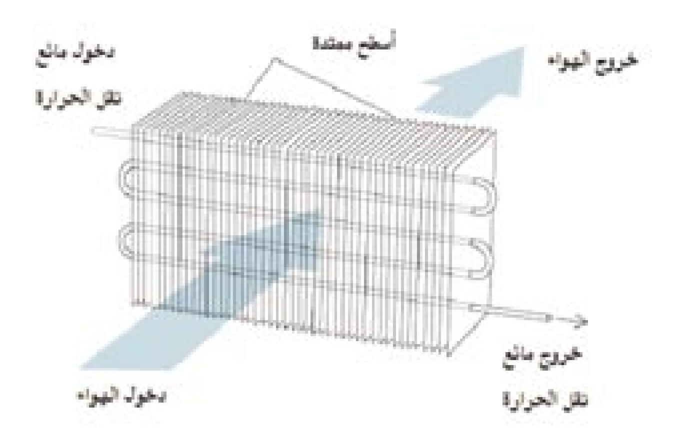
وتستخدم نظم تكييف الهواء الأنواع الآتية من مرشحات الهواء: المرشحات غير القابلة للتنظيف، والمرشحات الحقيبية أو مرشحات الطييات (انظر الشكل ٦-٤)، والمرشحات المعروفة باسم مرشحات "الهيبا"، ومرشحات الكربون. وتستخدم المرشحات غير القابلة للتنظيف لحماية محركات المراوح، وملفات التبريد والتدفئة من الملوثات الصلبة المحمولة بالهواء التي تتميز بأقطار أكبر من ١٠ ميكرومتر. ولا تتعدى كفاية هذه المرشحات عادة ٦٥٪. تمتاز مرشحات الهيبا بالكفاية العالية للتخلص من الملوثات التي يزيد قطرها على ٠,٣ ميكرومتر. وتكون كفاية هذه المرشحات عادة حوالي ٩٩,٩٧٪، وتصل الكفاية لبعضها لما يزيد على ٩٩,٩٩٩٩٪، إلا أن ارتفاع الكفاية يعني ارتفاع فقد ضغط الهواء الساري خلال هذه المرشحات. وتستخدم مرشحات الكربون لإزالة الغازات من الهواء.

توضع المرشحات في وحدات مناولة الهواء في مقاطع خاصة بها، كما توضع أيضاً في وحدات الملف المروحية، وكذلك في الوحدات المنفصلة لتكييف الهواء، أو في مكيفات وحدات الشباك.

٦-٣ ملفات التبريد وملفات التسخين

تستعمل ملفات التبريد والتسخين لمعالجة الهواء حرارياً، أي لتبريده أو تسخينه. تتكون هذه الملفات عادة من: مجموعة من الأنابيب يسري داخلها مائع نقل الحرارة، بينما يسري خارجها الهواء المطلوب تبريده أو تسخينه. وتتصل هذه الأنابيب من جهة الهواء بسطح ممتد لنقل الحرارة إلى الهواء. ويوضح شكل (٦-٥) نموذجاً لملف تبريد أو تسخين للهواء. كما تستخدم في بعض الأحيان، أنواعا أخرى من ملفات تسخين الهواء، مثل: السخانات الكهربائية، وسخانات الغاز.

وهناك عدة بدائل لمائع نقل الحرارة الذي يسري داخل الأنابيب. تستخدم ملفات التبريد المبردات المستخدمة في آلة التبريد، مثل: فريون ٢٢، أو فريون ١٣٤أ، أو غيرها، ويكون ملف التبريد عندئذ هو مبخر ماكينة التبريد، ويعرف ملف التبريد، عندئذ بملف تبريد مباشر التمدد. تستخدم أيضاً ملفات التبريد ماءً مثلجاً أو محلولاً ملحياً إذا تطلب الأمر تبريد الهواء لما دون الصفر المئوي. كما تستخدم ملفات التسخين ماءً ساخناً أو بخار ماء.

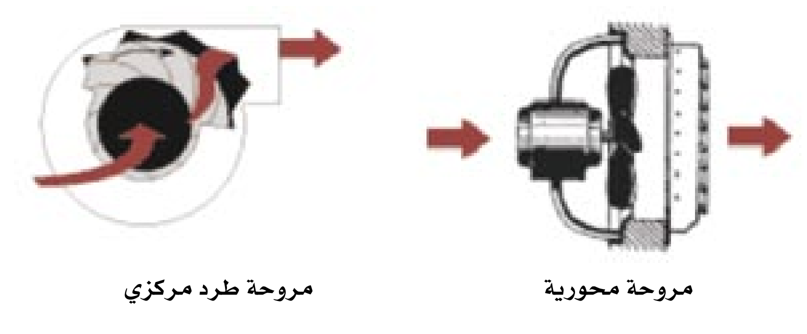


شكل ٦-٥ ملفات تبريد وتسخين الهواء

٦-٤ المراوح

تستهلك المراوح عادة قرابة ١٠ حتى ٢٠٪ من الطاقة المستهلكة في نظم التكييف المركزي الذي يستهلك عادة أكثر من ٢٥٪ من الطاقة المستهلكة في المباني الحديثة.

وتستخدم المراوح لتحريك الهواء خلال نظام تكييف الهواء. ،ويتم ذلك عن طريق رفع ضغط الهواء بقدر معين يسمح بتغلب سريان الهواء على المقاومة التي يتعرض لها السريان في المكونات المختلفة التي يسري خلالها الهواء. تستخدم المراوح في عدة أماكن في نظم تكييف الهواء. فتستخدم المراوح لدفع الهواء المكيف، ولسحب الهواء العائد من الغرف، وتوصيله إلى وحدات مناولة الهواء. عندئذ، توضع المراوح كمقطع في وحدات مناولة الهواء، كما هو موضح بشكل (٦-٢)، وشكل (٦-٣) أو كوحدة مستقلة. كذلك تستخدم المراوح لطرد الهواء العادم إلى خارج المبنى، ولسحب الهواء الخارجي إلى داخل المبنى. تعمل المراوح مباشرة بمحرك أو بسير لنقل الحركة من المحرك.



مروحة طرد مركزي　　　مروحة محورية

شكل ٦-٦ نماذج لمراوح الهواء المستخدمة في تكييف الهواء

وتستخدم نظم تكييف الهواء نوعين من المراوح: المراوح المحورية، ومراوح الطرد المركزي، كما هو مبين بشكل (٦-٦). وتتكون المراوح المحورية من دفاعة تدور داخل أسطوانة حول محورها. بدوران الدفاعة يتم دفع الهواء في اتجاه محوري داخل الاسطوانة، مع رفع ضغط الهواء بالمروحة. وتمتاز المراوح المحورية بارتفاع كفايتها إلا أن أهم عيوبها هو أنها ترفع ضغط الهواء بقدر صغير فقط، مما يحد من استخدامها في معظم تطبيقات توزيع الهواء في نظم التكييف المركزي. تعتبر مراوح الطرد المركزي هي الأكثر شيوعاً في نظم تكييف الهواء. تتكون مراوح الطرد المركزي من دفاعة بها ريش وعلبة حاوية. وبدوران الدفاعة يدخل الهواء إلى مركز الدفاعة التي تعمل على طرد الهواء في اتجاه نصف قطري إلى الخارج بقوة الطرد المركزي، كما هو موضح بشكل (٦-٦). وتمتاز مراوح الطرد المركزي بقدرتها على

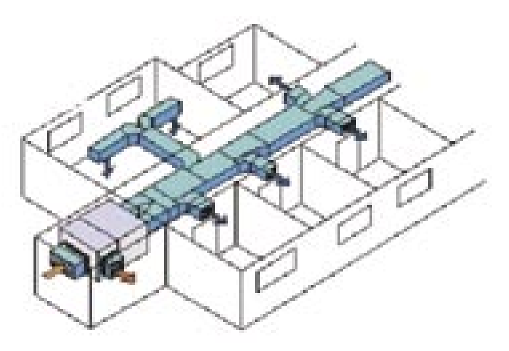
رفع ضغط الهواء بالمستويات اللازمة لتوزيع الهواء في نظم التكييف المركزي.

تعمل المراوح عادة بسرعة دوران ثابتة، مما يعني تحريك الهواء بمعدل حجم ثابت. يضاف إلى المراوح في بعض التصميمات مغيرات للسرعة تُمكّن المراوح من تغيير سرعتها أثناء التشغيل، مما يعني تحريك الهواء بمعدلات مختلفة لسريان حجم الهواء، وذلك تبعاً لظروف التشغيل مما يكون له أكبر الأثر على توفير استهلاك طاقة التشغيل. كما توجد بعض الوسائل الأخرى التي تستخدم أيضاً؛ لتغيير معدل سريان حجم الهواء الذي تعطيه المروحة تبعاً لمتطلبات التشغيل.

ولضمان انخفاض تكاليف التشغيل ينصح دائماً بعدم اختيار وتشغيل مراوح لها معدلات سريان أكبر من المعدل اللازم، طبقاً لمتطلبات التصميم. كما ينصح المهندسون بإكمال التركيبات الهندسية للمراوح طبقاً لتوصيات الأكواد المتخصصة لذلك، مع ضرورة إجراء الاختبارات الفنية اللازمة للتأكد من عمل المروحة عند نقطة أداء أعلى كفاية أو بالقرب منها.

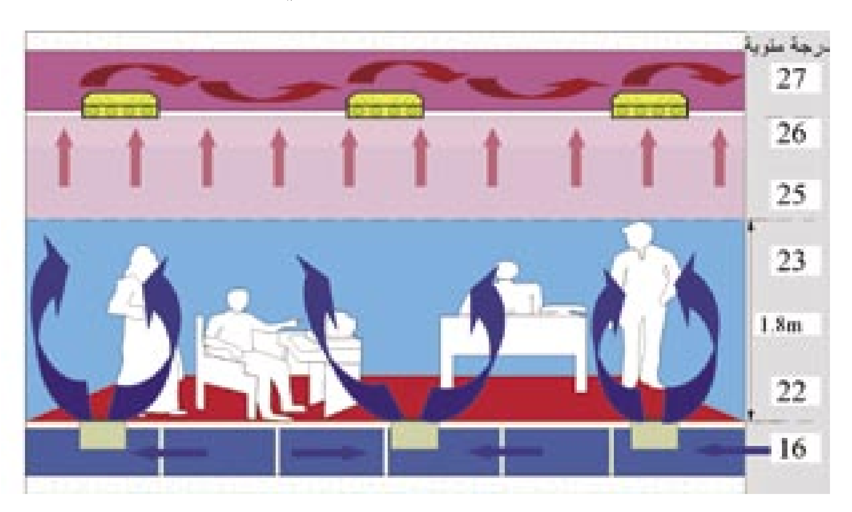
٦-٥ مجاري الهواء

تستخدم مجاري الهواء في المباني لتوزيع الهواء الذي تم معالجته في وحدات مناولة الهواء إلى الأماكن المختلفة بالمبنى. كذلك تستخدم هذه المجاري لنقل الهواء العائد من الأماكن المكيفة إلى وحدات مناولة الهواء لإعادة استعماله، أو لإخراجه بالكامل، أو جزئياً إلى خارج المبنى كعادم. كما تستخدم مجاري الهواء لإدخال هواء خارجي جديد إلى المبنى للتهوية. ويوضح شكل (٦-٧) شبكة مجاري لتوزيع الهواء المكيف الناتج عن المعالجة في وحدة مناولة الهواء.



شكل ٦-٧ مجاري توزيع الهواء في أحد التطبيقات

تصنع مجاري الهواء في معظم الأحوال من الصاج المجلفن غير القابل للصدأ. وتكون هذه المجاري مستطيلة المقطع، أو دائرية المقطع، وإن كانت المجاري مستطيلة المقطع هي الأكثر استخداماً في تطبيقات تكييف الهواء، ويتكون مجرى الهواء من جزءرئيس وفروع حسب المسار الذي صممت به هذه المجاري، إلا أنه في جميع الأحوال يلزم أن يوضع في هذه المجاري خانقات هواء للتحكم في مقدار سريان الهواء خلال الأجزاء الرئيسة والفرعية لهذه الشبكة، وأيضاً تستخدم الخانقات للتحكم في معدل سريان الهواء خلال المخارج التي تغذيها هذه المجاري، أو خلال المداخل للهواء العائد. ويقوم المصمم بتحديد أبعاد مقطع مجرى الهواء تبعاً لمعدل سريان الهواء خلال هذا المقطع. فبزيادة معدل السريان تكبر المساحة وبالتالي تكبر الأبعاد.



شكل ٦-٨ نظام تكييف الهواء بخروج المكيف من أرضية الغرفة

توضع مجاري الهواء عادة فوق السقف الصناعي وأسفل السقف الحقيقي، إلا أن بعض النظم والتصميمات الحديثة تضع مجاري الهواء أسفل أرضية صناعية مرتفعة، كما هو موضح في شكل (٦-٨). ويجب أن يراعى المصمم ومقاول التركيبات عدم صدور أي ضوضاء عنها؛ مما يكون سبباً للإزعاج في الأماكن المكيفة. كما يلزم أيضاً أن يقوم المقاول بإجراء الاختبارات الفنية اللازمة للتأكد من أن تسرب الهواء من مجاري الهواء لا يزيد عن المعدلات المسموح بها هندسياً.

٦-٦ مخارج ومداخل الهواء

توضع مخارج الهواء في الأماكن المخصصة لها بشبكة المجاري، للتحكم في معدل الهواء المطلوب توزيعه في الأماكن المختلفة. يقوم المصمم بحساب حالة ومعدل الهواء اللازم لكل غرفة تبعاً لحمل التبريد أو حمل التدفئة للغرفة، وكذلك تبعاً لمتطلبات توزيع الهواء بالغرفة، وفي بعض التطبيقات تبعاً للمعدل المطلوب لدوران الهواء؛ لترشيحه لضمان المستوى المطلوب للنظافة بالغرفة. يعمل المصمم، كذلك، على تحديد قيمة الهواء اللازم سحبه من الغرفة. ويكون الفرق بين الهواء الوارد والمسحوب من الغرفة هو معدل الهواء الخارجي المطلوب إمداده للغرفة. كما يقوم المصمم أيضاً بتحديد موقع كل مخرج ومدخل هواء بالغرفة؛ لضمان جودة توزيع الهواء بالغرفة.



شكل ٦-٩ نماذج لفتحات خروج الهواء

يختار المصمم مخارج الهواء والمداخل من عدة أنواع متاحة بالأسواق. فمن هذه الأنواع ما يوضع في السقف، ومنها ما يوضع أعلى أو أسفل الحائط، ومنها ما يوضع في الأرضية. وذلك تبعاً لمتطلبات توزيع الهواء بالغرفة. وتتوفر مخارج الهواء ومداخله بأشكال هندسية مختلفة وأبعاد متنوعة (انظر شكل ٦-٩). وتتم المفاضلة، عادة، بين الأشكال الهندسية المختلفة بعد التنسيق مع المعماري المسؤول عن تصميم الفراغ

الداخلي للغرفة، بينما تختار أبعاد كل مخرج ومدخل بناء على معدل الهواء الساري خلاله، وتوزيع الهواء المطلوب للغرفة، والضوضاء الصادرة من المخرج أو المدخل.

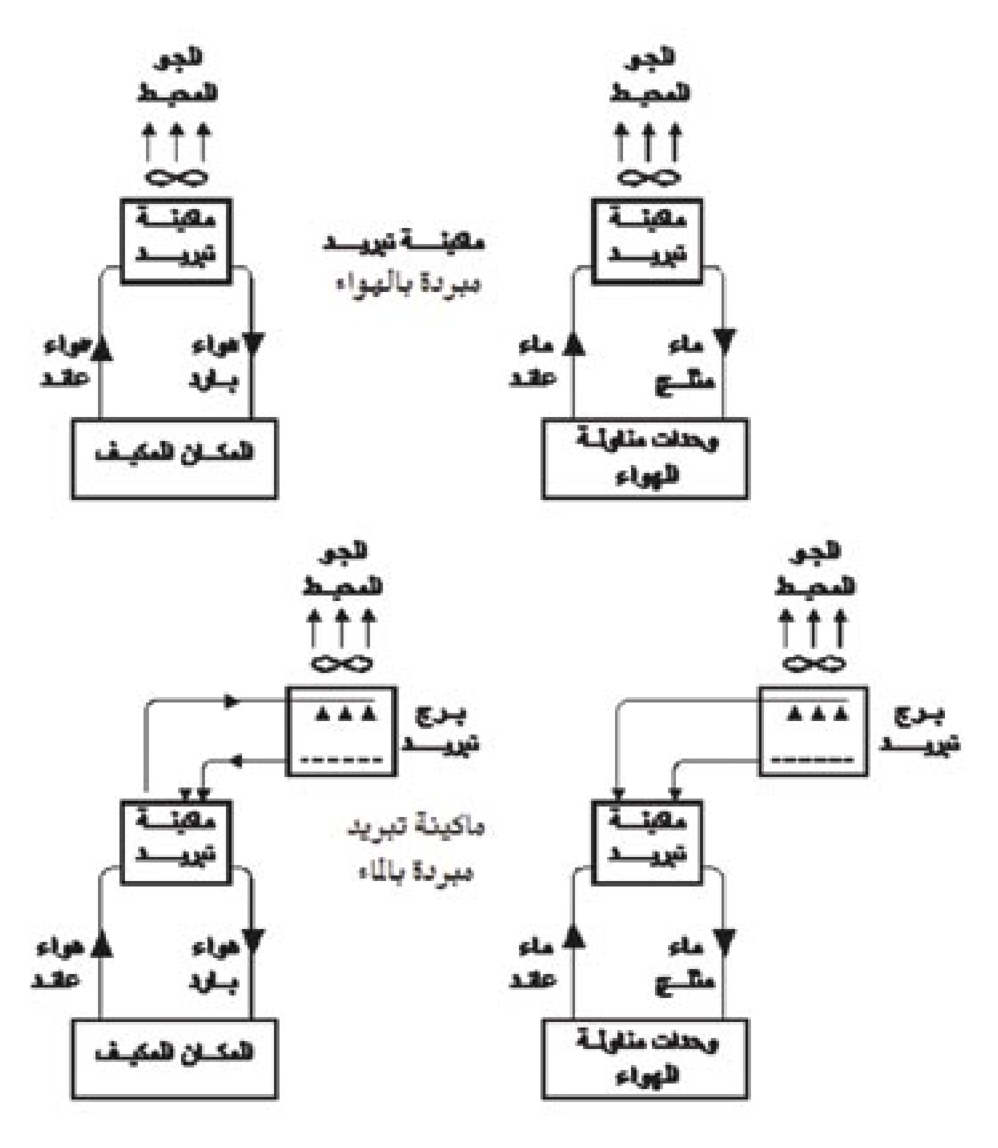
يتطلب تركيب مخارج ومداخل الهواء مهارة ودراية تامة بالمواصفات الهندسية الخاصة بذلك. ومن الضروري بعد الانتهاء من أعمال التركيبات والتشغيل أن يقوم المقاول بإجراء الاختبارات الفنية اللازمة للتأكد من أن معدل الهواء الساري خلال كل مخرج أو مدخل مساوياً لمعدل التصميم، وأن تكون الضوضاء الصادرة عن تكييف الهواء داخل الغرفة في مدى السماح طبقاً للتصميم.

٦-٧ ماكينات التبريد

تتوفر في الأسواق ماكينات تبريد تعمل، عادة، بدورة انضغاط البخار أو بدورة التبريد بالامتصاص، وتنقسم هذه الماكينات من حيث التبريد إلى ماكينات تمدد مباشر أو ماكينات تثليج ماء. في الأولى تقوم الماكينة بتبريد الهواء مباشرة قبل الاستفادة منه في تكييف الهواء (انظر الجزء الأيمن من شكل ٦-١٠). أما ماكينات تثليج الماء (انظر الجزء الأيسر من الشكل) فتهدف إلى تثليج الماء إلى درجة حرارة ٦ ^{o}م عادة في التطبيقات غير الصناعية لتكييف الهواء أو إلى أقل من ذلك حتى إلى ما تحت الصفر المئوي في التطبيقات الصناعية، أو بعض التصميمات الخاصة لنظم تكييف الهواء التقليدية غير الصناعية.

تنقسم ماكينات التبريد إلى قسمين ـ أيضاً ـ تبعاً لطريقة طرد الحرارة منها، فهي: أما مبردة بالهواء (انظر الجزء العلوي من شكل ٦-١٠)، أو مبردة بالماء (انظر الجزء السفلي من الشكل نفسه). فإذا كانت ماكينات التبريد مبردة بالهواء لزم وضعها في أماكن مفتوحة للهواء الخارجي كسطح المبنى أو بجواره. أما إذا كانت هذه الماكينات مبردة بالماء، فيمكن وضعها في غرف الماكينات الداخلية بالمبنى. وتستخدم مضخات مياه لتدوير الماء لسحب الحرارة من المكثف، ويتم عادة تبريد هذا الماء في برج تبريد لإعادة استخدامه كما سيرد فيما بعد. ويتم التفضيل بين ماكينات التبريد المبردة بالهواء أو تلك المبردة بالماء تبعاً للاستثمارات المتاحة لبناء نظام تكييف الهواء، ومدى أهميتها بالمقارنة بتكاليف التشغيل السنوية. فبينما

تكون التكلفة الأولية لماكينات التبريد المبردة بالهواء أقل من التكلفة الأولية لمثيلاتها المبردة بالماء، بعد إضافة التكلفة الأولية لأبراج التبريد ومضخات المياه اللازمة للتشغيل، فإن تكلفة التشغيل للثانية أقل منها للأولى نظراً لارتفاع كفاية تشغيل الماكينات المبردة بالماء عن تلك المبردة بالهواء.



شكل ٦-١٠ البدائل المختلفة لطرق عمل ماكينات التبريد: ماكينات مبردة بالهواء (أعلى الرسم)، وماكينات مبردة بالماء (أسفل الرسم)

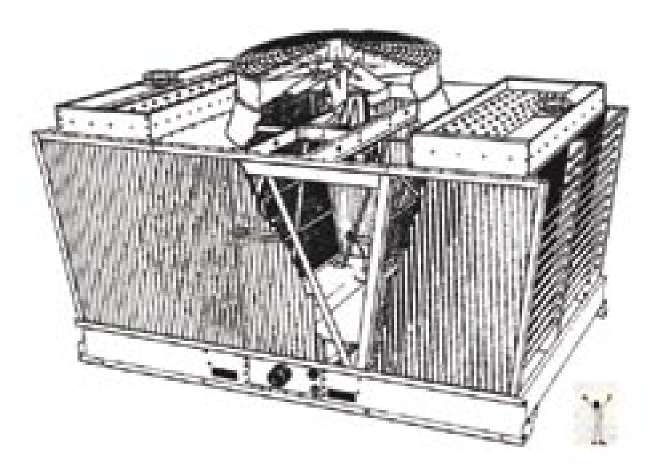
٦-٨ ماكينات التسخين

تستخدم عدة وسائل لتسخين الهواء لغرض الاستخدام في تدفئة المباني. أبسط هذه الوسائل هو التسخين باستخدام الكهرباء حيث يمرر الهواء على مقاومة كهربائية يتم التحكم في شدة التيار الكهربائي بها لتسخين الهواء. وتستخدم هذه الطريقة عادة لتدفئة الغرف موضعياً دون الحاجة لنظام مركزي للتدفئة. وعادةً تستخدم النظم المركزية للتدفئة ، ماءً يتم تسخينه ثم توزيعه على وحدات مناولة الهواء لتسخين الهواء بحسب الحاجة قبل توزيع هذا الهواء على الغرف التي تخدمها وحدة مناولة الهواء.

يسخن الماء مركزياً بعدة طرق منها: تسخين الماء في غلاية، أو تسخينه بواسطة بخار ماء يتم الحصول عليه من غلاية بخار، أو تسخين هذا الماء بالطاقة الشمسية، أو بأي مصادر حرارية أخرى قد تكون متاحة. فمثلاً يمكن تسخين الماء بالحرارة المتولدة في محطات توليد الكهرباء النووية، أو تسخين الماء في المحارق الخاصة بحرق النفايات وغيرها. يمكن تسخين الماء جزئياً، باستخدام الحرارة المطرودة من ماكينات التبريد، أو تسخين الماء بالكامل بهذه الماكينات عند عملها كمضخة حرارية.

٦-٩ أبراج التبريد

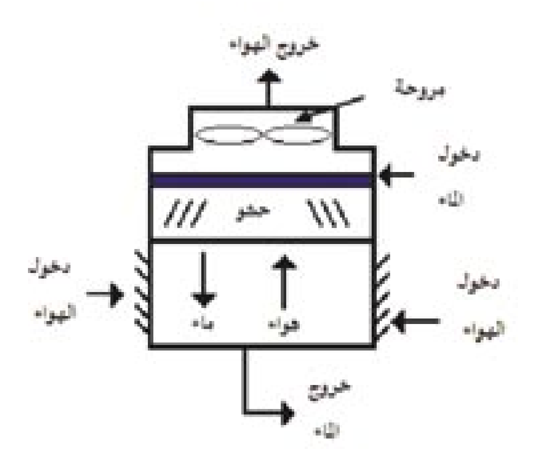
أبراج التبريد هي معدات هندسية تستخدم لتبريد الماء بالهواء. وأبراج التبريد



شكل ٦-١١ برج تبريد

شائعة الاستخدام صناعياً بالإضافة إلى استخدامها مع نظم تكييف الهواء. ويبلغ بعضها أحجاماً كبيرة تبعاً لمقدار الحمل الحراري لها (انظر شكل ٦-١١).

يتكون برج التبريد ـ كما هو مبين بشكل (٦-١١) من بناء به مادة مسامية تعرف بحشو البرج، حيث تسمح هذه المادة بمرور الماء والهواء من خلالها، دون أن تتأثر خواصها بأي منهما. يدخل الماء من أعلى البرج ثم يسقط بتأثير الجاذبية الأرضية إلى أسفل، حيث يقابل الهواء الساري في اتجاه عكسي إلى أعلى بتأثير عمل المروحة في أعلى البرج. بتبخير الماء إلى الهواء يتم تبريد الماء، وعليه يكون تبريد الماء بقدر ما يمكن تبخيره منه إلى الهواء، ويعتمد ذلك بشكل مباشر على درجة تشبع الهواء ببخار الماء، فعندما يكون الهواء جافاً يمكنه حمل قدر كبير من بخار الماء مما يساعد على تبريد الماء، أما إذا كان الهواء مشبعاً ببخار الماء فلا يمكنه حمل أي قدر من بخار الماء. لذلك، لا يمكن استخدام أبراج التبريد التي يحتمل أن يكون الهواء الجوي بها قريباً من التشبع ببخار الماء. ويستخدم حشو البرج لتكسير الماء إلى جزيئات صغيرة لتسهيل تعرضها للهواء.



شكل ٦-١٢ رسم تخطيطي لبرج تبريد

يدخل الماء الساخن العائد من ماكينات التبريد من أعلى برج التبريد، ثم يسحب الماء البارد من قاع البرج لتدويره مرة أخرى في ماكينات التبريد للمساعدة في طرد الحرارة منها. يدخل الهواء الجوي من أسفل البرج من الجوانب (انظر شكل ٦-١٢)، ثم يطرد إلى الخارج من أعلى البرج. ونظراً لتبخر جزء من الماء في البرج فإنه يلزم

دائماً تعويض هذا الفقد بإمداد البرج بمصدر ماء خارجي. يعمل البخر ـ أيضاً ـ على رفع مقدار نسبة الأملاح بالماء الدائر في البرج ومكثفات ماكينات التبريد. لذا يلزم دائماً إحلال جزء من الماء الدوار بماء خارجي للمحافظة على نسبة مقبولة من الأملاح بالماء، ونظراً لتعرض الماء بالبرج للجو الخارجي، فإنه يلزم التنظيف الدوري للبرج، واستخدام مواد كيميائية خاصة لمعالجة المياه الدائرة بالبرج والمكثفات لضمان العمل بكفاية عالية.

الفصل السابع: النظم التقليدية لتكييف الهواء

■ تعريف الغرفة والمنطقة ونظام تكييف الهواء. ■ حمل التبريد. ■ حمل التدفئة. ■ نظام. تكييف الهواء غير المركزي. ■ نظام تكييف الهواء المركزي. ■ نظام الهواء الشامل. ■ نظام الهواء والماء. ■ إمداد الغرفة بالهواء الخارجي.

تقسم نظم تكييف الهواء إلى نظم تكييف هواء غير مركزية، وأخرى مركزية تبعاً للطريقة التي يعالج بها الهواء، وموقع المعدات التي تستخدم لهذه المعالجة بالنسبة للغرف المطلوب تكييف هوائها. فمثلاً: إذا تم معالجة الهواء لكل غرفة بمعدة خاصة بها بشكل مستقل عن باقي الغرف، بحيث لا تشترك هذه الغرف معاً في أي معدات، سمي هذا النظام بنظام غير مركزي. أما إذا تطلب الأمر وجود بعض أو كل المعدات لتخدم عدة غرف أو مناطق، سمي النظام: بنظام مركزي. ويوضح الفصل الحالي عرضاً لأهم الطرق الشائعة في نظم تكييف الهواء المركزي وغير المركزي. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى أشري [ASHRAE, 2004].

٧-١ تعريف الغرفة والمنطقة ونظام تكييف الهواء

تستخدم نظم تكييف الهواء، عادة، مصطلحي الغرفة والمنطقة، وهما مصطلحان لهما دلالتهما الخاصة بتكييف الهواء. ويختلف مفهوم هذين المصطلحين إلى حد ما عن المفهوم المعماري لهما. فتُعَرَّف الغرفة بأنها: أيُّ مساحة في المبنى محاطة بحوائط، وذلك بغض النظر عن هذه المساحة. وبناءً على ذلك قد تكون الغرفة جزءًا صغيراً من دور في مبنى، أو قد تكون الغرفة دوراً بالكامل، وذلك تبعاً للحوائط المستخدمة بالدور. وتُعَرَّف المنطقة بشكل آخر، بأنها: أيُّ مساحة بالمبنى يتم التحكم في درجة الحرارة فيها باستخدام ضابط درجة حرارة (ترموستات) واحد. بناءً على ذلك، قد تكون المنطقة غرفة واحدة، أو مجموعة غرف في جزء من دور بالمبنى أو الدور بالكامل. وقد تضم المنطقة في بعض التصميمات عدة غرف موزعة على عدة أدوار.

من التعريفين السابقين، تُقَسَّم نظم تكييف الهواء تبعاً لعدد المناطق

التي تخدمها. فيقال: إن نظام تكييف الهواء أحادي المنطقة إذا كان يعمل بحاكم (ترموستات) واحد لدرجة الحرارة. كما يعرف النظام بأنه متعدد المناطق إذا كان به أكثر من ترموستات.

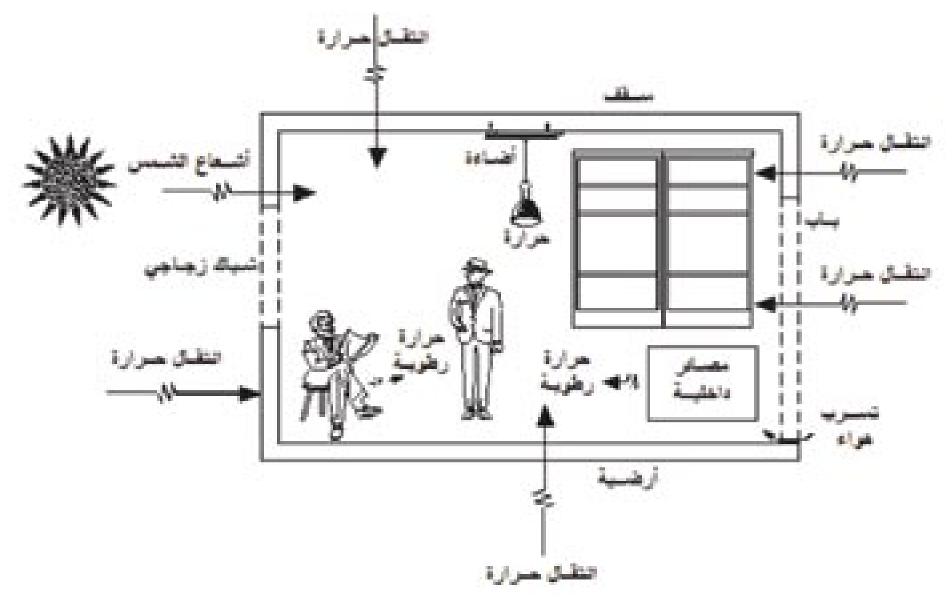
يُقسَّم المبنى المراد تكييفه إلى منطقة أو أكثر بحسب التطبيق المستخدم في كل منطقة، وبحسب الاستثمارات المتاحة لنظام تكييف الهواء. وتعرف مجموعة المعدات والمكونات التي ترتبط مع بعضها البعض بوحدة معالجة أو أكثر للهواء بنظام تكييف الهواء. من هذا المنطلق، يتم تقسيم نظم تكييف الهواء إلى نظم مركزية، وأخرى غير مركزية، وتقسم النظم المركزية إلى نظم هواء شامل أو نظم هواء وماء، كما سيرد فيما بعد، السيد وآخرون (١٩٩٤/ب).

٧-٢ حمل التبريد

يقصد بحمل التبريد الحمل الحراري اللازم للتبريد في نظم تكييف الهواء.ويعرف حمل التبريد للغرفة بأنه: مقدار الحمل الحراري اللازم سحبه من الغرفة للمحافظة عليها عند ظروف داخلية ثابتة من درجة الحرارة ونسبه الرطوبة. ويتكون هذا الحمل كما هو موضح في شكل (٧-١) .من المكونات التالية:

- الحمل الحراري المنتقل من الجو الخارجي إلى داخل الغرفة من خلال الحوائط، والسقف والأرضية. وإذا كان المكان الذي يعلو الغرفة مكيفاً، انعدمت الحرارة المنتقلة إلى الغرفة من السقف، وبالمثل يكون الحال بالنسبة لأرضية الغرفة. فإذا كان هناك حوائط داخلية تفصلها عن غرف مكيفة، انعدمت الحرارة المنتقلة من هذه الحوائط.
- الحمل الحراري المنتقل من زجاج النوافذ أو ما يماثلها، وينقسم هذا الحمل إلى قسمان: الحمل الحراري المنقول من الخارج إلى داخل الغرفة بالتوصيل الحراري خلال الزجاج، والحمل الحراري لأشعة الشمس النافذة من خلال الزجاج إلى داخل الغرفة.
- الحمل الحراري المنتقل من الأشخاص إلى هواء الغرفة، وهو قسمان: القسم

الأول: ينتج عن انتقال الحرارة من الجسم إلى الجو المحيط عندما تكون درجة حرارة الجسم أعلى من درجة حرارة الجو المحيط به، والقسم الثاني: هو نتيجة انتقال رطوبة من الأشخاص إلى الغرفة بسبب العرق والتنفس. ويعتمد الحمل الحراري للأشخاص على النشاط الذي يقومون به في الغرفة، و علىالسن والنوع .



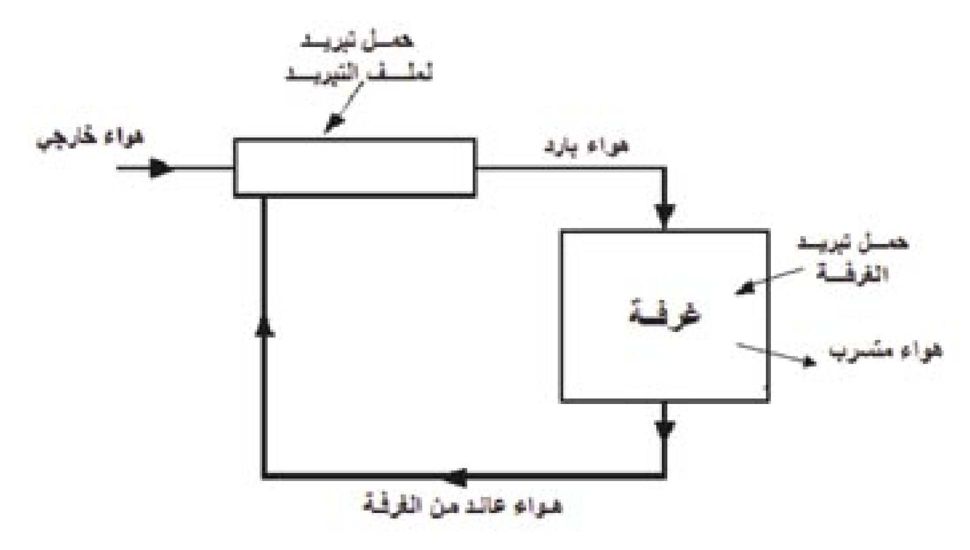
شكل ٧-١ مكونات حمل التبريد للغرفة

- الحمل الحراري الناتج عن الإضاءة الموجودة بالغرفة.
- الحمل الحراري الناتج عن أي معدات كهربائية أو ميكانيكية تعمل داخل الغرفة.
- الحمل الحراري الناتج عن تسرب هواء خارجي إلى الغرفة، من خلال النوافذ أو الأبواب أو أي فتحات في الحوائط الخارجية أو السقف.

وتمثل المكونات السابقة حمل التبريد للغرفة. وكما هو واضح يتغير هذا الحمل تبعاً لظروف الجو الخارجي التي تتغير خلال اليوم وخلال فصول السنة. ويتغير الحمل الحراري للغرفة ـ كذلك ـ مع تغيير إشغال الغرفة، وتغير تشغيل الإضاءة والمعدات الكهربائية الموجودة بها. وبناءً على ما سبق، فإنه لا يمكن بأي حال القول بثبات حمل التبريد لغرفة، لكنه بالتأكيد يتغير من وقت لأخر.

يختلف حمل التبريد لماكينة تكييف الهواء عن حمل التبريد للغرفة. فكما هو

موضح بشكل (٧-٢) تقوم ماكينة تكييف الهواء بتبريد الغرفة، وكذلك تبريد قدر من الهواء الخارجي يلزم إمداده إلى الغرفة لتجديد الهواء بها. ويعمل نظام التكييف في أبسط صوره كما هو موضح بالشكل بسحب هواء، الغرفة ثم خلطه بنسبة من الهواء الخارجي، حيث يتم تبريد الخليط قبل إعادته إلى الغرفة. بذلك، يتم تبريد الغرفة وتجديد الهواء بها، السيد وآخرون (١٩٩٤/ب).



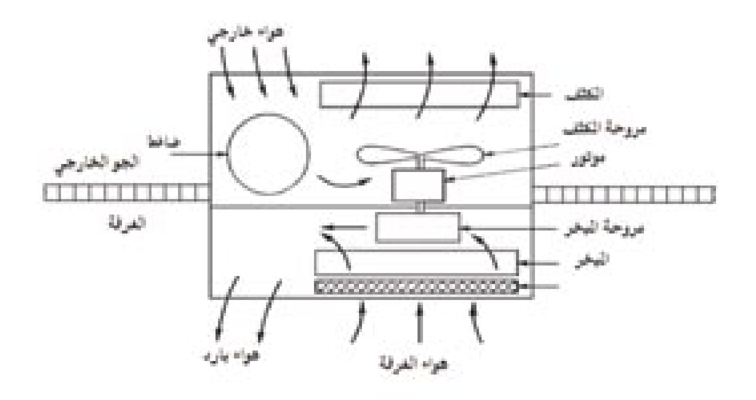
شكل ٧-٢ رسم تخطيطي لنظام تكييف هواء لغرفة

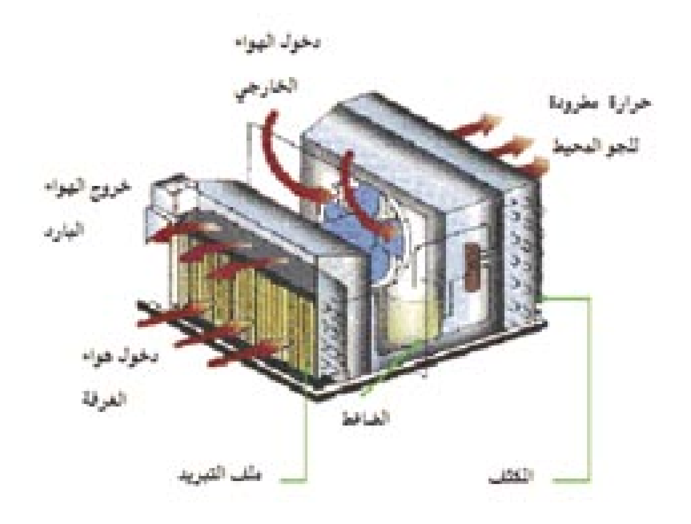
٧-٣ حمل التدفئة

حمل التدفئة هو: الحمل الحراري اللازم إضافته للغرفة لتعويض الحرارة المفقودة منها للخارج. يعتمد هذا الحمل على درجة الحرارة الخارجية، وأيضاً على الخواص الحرارية للحوائط والسقف والأرضية. ويكون حمل التدفئة عندئذ هو مجموع الحرارة المفقودة من الغلاف الخارجي للغرفة. وخلافاً لحساب حمل التبريد لا يؤخذ الحمل الحراري الداخلي للغرفة، الناتج عن الإضاءة والمعدات الموجودة بها والأشخاص بالغرفة في الحسبان، حيث يعمل هذا الحمل الداخلي على المساعدة على تدفئة الغرفة، وبالتالي خفض قيمة حمل التدفئة المطلوب من نظام التكييف للتدفئة. إلا أنه لا يمكن الاعتماد على هذا الحمل؛ نظراً لتغيره تبعاً لظروف تشغيل الغرفة.

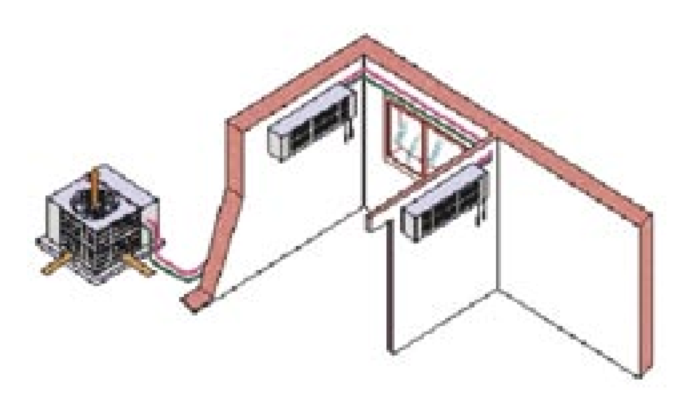
٧-٤ نظام تكييف الهواء غير المركزي

تعتبر النظم غير المركزية أبسط نظم تكييف الهواء وأكثرها شيوعاً، نظراً لانخفاض تكلفتها. ففي هذه النظم تستخدم معدات، تُعَرف (بالمكيفات)، لتكييف هواء الغرفة بشكل مباشر. ومن أكثر أنواع المكيفات المستخدمة مكيف الشباك، والمكيف منفصل الوحدات (سبليت)، وتعمل هذه المكيفات باستخدام دورة التبريد بانضغاط البخار.





شكل ٧-٣ رسم تخطيطي لوحدة تكييف شباك



شكل ٧-٤ مكيف منفصل الوحدات

ويبين شكل (٧-٣) مكيف شباك. ويوضع هذا المكيف في فتحة بالحائط الخارجي للغرفة، بحيث تكون وحدة تكيف الشباك بين الغرفة والجو الخارجي. ففي حالة عمل المكيف لتبريد هواء الغرفة تعمل مروحة المكيف على سحب هواء الغرفة وتمريره على المبخر لتبريد الهواء قبل إعادته إلى الغرفة مرة أخرى. ويوجد في هذا المكيف مروحة أخرى تعمل على سحب الهواء الخارجي، وتمريره على المكثف؛ حيث يتم طرد الحرارة إلى الهواء قبل إعادته إلى الخارج مرة أخرى.

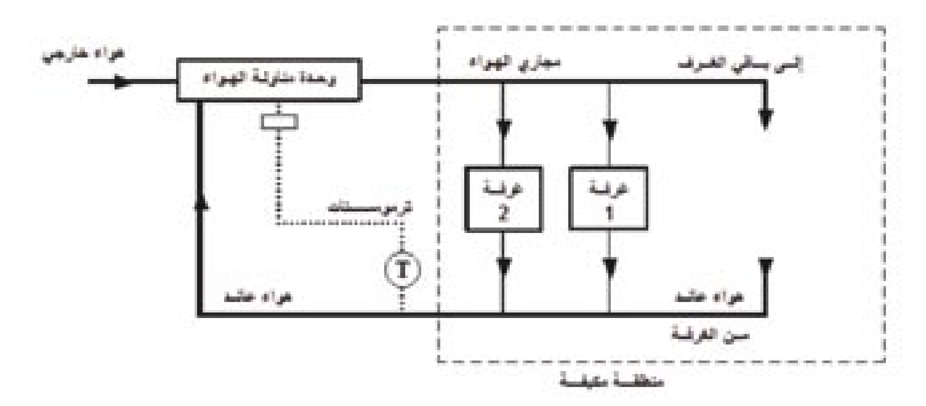
ويمتاز مكيف الشباك بصغر حجمه ورخص ثمنه، مما يجعله أرخص المكيفات على الإطلاق. إلا أن أهم عيوبه الضوضاء الصادرة عن الضاغط الموجود داخل الغرفة. ومن عيوب هذا المكيف أيضاً عدم تنقية هواء الغرفة بمستوى جيد. ويبين شكل (٧-٤) مكيفاً منفصل الوحدات. ويتكون هذا المكيف من وحدتين منفصلتين. وتحوي إحدى الوحدتين المبخر، وتوضع هذه الوحدة داخل الغرفة، والأخرى تحوي الضاغط والمكثف، وتوضع خارج الغرفة في الجو الخارجي، حيث يتم طرد الحرارة. تتصل الوحدة الداخلية والوحدة الخارجية بأنابيب لإكمال دورة دوران المبرد بين الوحدتين. ولا تزيد المسافة بين الوحدتين عادة على ٥ متر (بعض الوحدات الجديدة تسمح بمسافة حتى ٢٠ متراً)، نظراً لانخفاض كفاية التشغيل للمكيف بزيادة هذه المسافة، وتتحسن كفاية التشغيل بقرب الوحدتين من بعضهما البعض. ويمتاز المكيف منفصل الوحدات بانخفاض الضوضاء لوجود الضاغط خارج الغرفة، أما أهم العيوب فهي عدم إمكانية إمداد الغرفة بهواء خارجي، وإعادة دوران هواء الغرفة بالكامل دون استبدال أي نسبة منه بالهواء الخارجي.

٧-٥ نظام تكييف الهواء المركزي

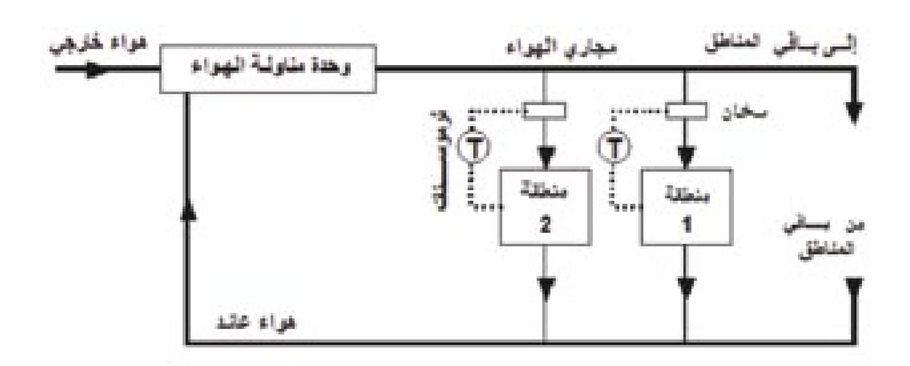
تستخدم نظم تكييف الهواء المركزي وحدات مركزية لتبريد الهواء أو تسخينه. وهناك عدة بدائل لطريقة تبريد الهواء أو تسخينه، مما يعطي لكل بديل من هذه البدائل نمطاً خاصاً به. وتمتاز نظم تكييف الهواء المركزي عامة مقارنة بالنظم غير المركزية بالحصول على توزيع هواء أفضل من الطرق غير المركزية. كما أن بعض النظم المركزية توفر تحكماً دقيقاً في درجة الحرارة والرطوبة أفضل من النظم غير المركزية. و يمكن لنظم تكييف الهواء المركزي تجديد هواء الغرف بإمدادها بقدر معلوم من الهواء الخارجي تبعاً لاحتياجات التصميم، أو إمدادها بالكامل بهواء خارجي، بينما لا يمكن ذلك في حالة النظم غير المركزية. كما أن النظم المركزية تعطي درجة أعلى من تنقية الهواء مقارنة بالنظم غير المركزية. ومن عيوب النظم المركزية ارتفاع التكلفة الأولية مقارنة بالنظم غير المركزية.

٧-٦ نظام الهواء الشامل

نظام الهواء الشامل هو أحد نظم تكييف الهواء المركزي. في هذا النظام، يتم معالجة الهواء مركزياً، أي يتم ترشيحه من الشوائب والملوثات عن طريق تمريره خلال مرشحات الهواء، كما يتم التحكم في درجة حرارته بالتبريد أو التسخين، وقد يتم أيضاً التحكم في رطوبته بتجفيفه أو ترطيبه، وإضافة القدر المطلوب من الهواء الخارجي، ثم يتم توزيع الهواء بعد معالجته إلى الغرف المختلفة. وتتم معالجة الهواء عادة في وحدات مناولة الهواء كما ورد في الفصل السابق. تقسم نظم الهواء الشامل إلى قسمين أساسيين هما: النظم ثابتة حجم الهواء، والنظم متغيرة حجم الهواء. تستخدم النظم ثابتة حجم الهواء، معدلاً ثابتاً لحجم الهواء يتم ضخه إلى الغرف المختلفة بعد التحكم في درجة حرارة هذا الهواء مركزياً، وذلك بغض النظر عن مقدار الحمل الحراري الموجود في الغرف التي يخدمها نظام التكييف. ونظراً لتغيير قيمة الحمل الحراري بالغرف تبعاً لظروف هذه الغرف، فإنه يتم التحكم في درجة حرارة الهواء الوارد إلى هذه الغرف مركزياً تبعاً لتغيير الحمل الحراري الإجمالي لهذه الغرف، وليس تبعاً لكل غرفة بمفردها. وتقسم النظم ثابتة حجم الهواء ـ أيضاً ـ، إلى

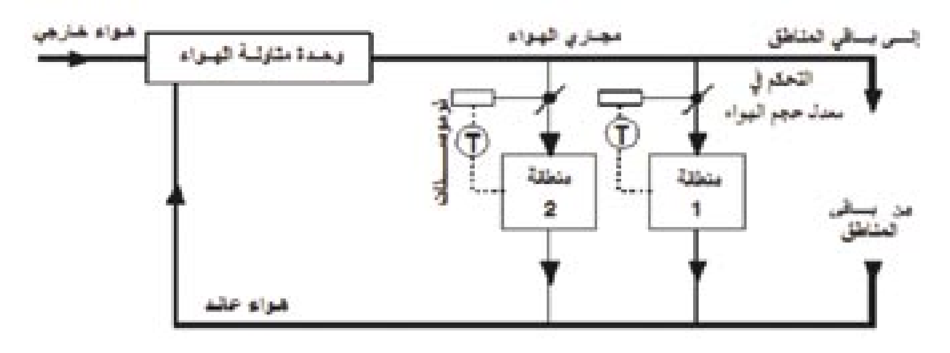


شكل ٧-٥ رسم تخطيطي لنظام تكييف هواء ثابت الحجم وحيد المنطقة



شكل ٧-٦ رسم تخطيطي لنظام تكييف هواء ثابت الحجم مع إعادة التسخين ومتعدد المناطق

نظم وحيدة المنطقة وأخرى متعددة المناطق، تبعاً لعدد المناطق التي يخدمها نظام تكييف الهواء. ويوضح شكل (٧-٥) نظام هواء شامل ثابت الحجم وحيد المنطقة. ويعيب هذا النظام عدم قدرته على التحكم في درجة حرارة كل غرفة بمفردها. لهذا السبب يفضل استخدام هذا النظام في التطبيقات التي لها الطبيعة نفسها لحمل التبريد، كالأسواق التجارية، أو المناطق المفتوحة لعمل الموظفين بالشركات وغيرها. وتستخدم نظم الهواء الشامل ثابتة الحجم عدة بدائل لتمكينها من العمل كنظام متعدد المناطق. ومن هذه البدائل استخدام سخان قبل إمداد المنطقة بالهواء المكيف كما هو مبين بشكل (٧-٦). وبالتأكيد يعيب هذا النظام إهدار الطاقة، حيث يتم تسخين الهواء بعد تبريده، السيد وآخرون (١٩٩٤/ب).



شكل ٧-٧ رسم تخطيطي لنظام هواء متغير الحجم

تعمل النظم متغيرة الحجم على تغيير معدل إمداد الهواء إلى المنطقة مع تغير حمل التبريد للمنطقة، كما ورد سابقاً. ويستخدم لهذا الغرض صناديق للتحكم في معدل سريان الهواء إلى المنطقة، كما هو موضح بشكل(٧-٧). وتوضع هذه الصناديق عند دخول الهواء المكيف إلى المنطقة، ويقوم ترموستات المنطقة بالتحكم في معدل الهواء إلى المنطقة. وكما هو واضح من فكرة عمل هذا النظام فإنه بطبيعته نظام متعدد المناطق. ومن أهم مميزات هذا النظام توفيره لطاقة التشغيل، إلا أن أهم عيوبه سوء توزيع الهواء بالغرفة إذا سُمِحَ بخفض معدل سريان الهواء إلى معدلات متدنية.

٧-٧ نظام الهواء و الماء

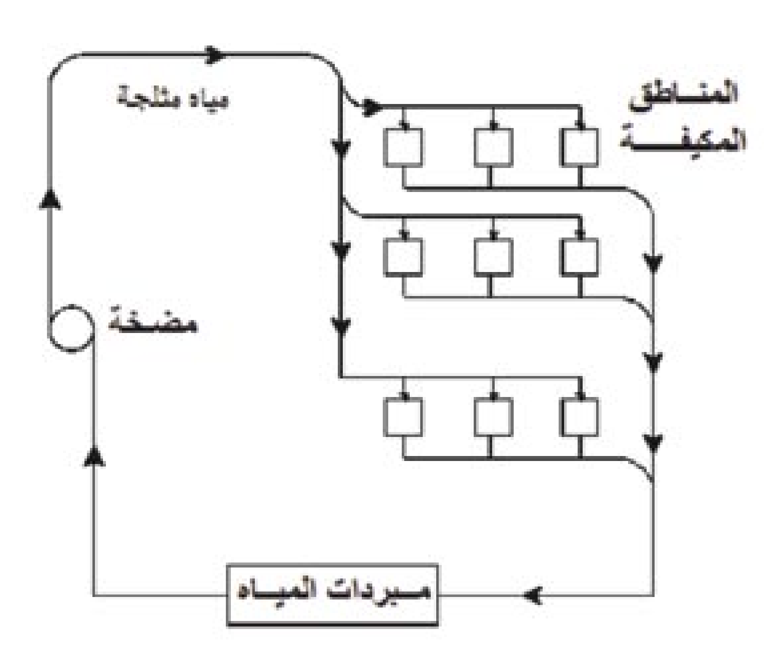
تبين في نظام الهواء الشامل أن المعالجة الحرارية للهواء تتم مركزياً بتمرير الهواء في ماكينات التبريد أو التسخين. ولقد لوحظ أن هذا النظام يعيبه ضرورة شغل حيز من المبنى لنقل الهواء بعد معالجته من أماكن الماكينات إلى الغرف المختلفة بالمبنى، مما يعني زيادة تكلفة المبنى. فمثلاً: قد يلزم توزيع مجاري الهواء زيادة ارتفاع الطابق بما تحتاجه هذه المجاري، مما يزيد تكلفة البناء. ويصعب استخدام نظام تكييف الهواء الشامل في المباني التي لم يتم بناؤها مسبقاً لهذه الغرض، حيث لا يسمح ارتفاع المبنى بذلك، أو يصعب إيجاد أماكن ملائمة لمجاري الهواء وتوصليها على ماكينات التبريد والتسخين. ولا يمكن استخدام نظم الهواء

الشامل في المباني التاريخية القديمة التي يحظر إجراء أي تعديلات معمارية بها للسماح بإيجاد مسارات لمجاري الهواء. ولقد رأى مصممو تكييف الهواء إمكانية التغلب على الصعوبات السابقة، عن طريق استخدام الماء كوسيط للتبريد أو التسخين بين ماكينات التبريد أو التسخين والهواء (انظر الشكل ٧-٨).

توضع ماكينات التبريد عادة في غرف خاصة بها بالطابق نفسه المطلوب تكييفه، أو في طوابق مختلفة عن الطابق المطلوب تكييفه، أو على سطح المبنى، أو في البدروم، أو في بعض الأماكن المخصصة لذلك خارج المبنى. ويستخدم الماء في نظم الهواء والماء كوسيط لنقل الحرارة أو البرودة من هذه الماكينات إلى الهواء، دون الحاجة لنقل الهواء إلى هذه الماكينات. ينقل الماء في أنابيب صغيرة الحجم مقارنة بمجاري الهواء، مما يسهل تثبيتها في المباني الحديثة، أو القديمة، أو التاريخية.

تستخدم وحدات مناولة الهواء، أو وحدات الملف والمروحة، أو بدائل أخرى لتسخين أو تبريد الهواء بالماء المعد لذلك مركزياً، ويوزع هذا الهواء على غرفة واحدة أو أكثر تبعاً للتصميم المعد لذلك. وهناك عدة بدائل لأماكن وضع وحدات مناولة الهواء،حيث توضع في غرف مستقلة، أو فوق سطح المبنى، أو في بدروم المبنى أو فوق السقف المستعار. أما وحدات الملف والمروحة فتوضع عادة داخل الغرف على الأرض، أو أعلى الحائط، أو فوق السقف المستعار. وفي بعض الأحيان توضع هذه الوحدات خارج الغرفة فوق السقف المستعار للممرات المجاورة للغرفة، أو فوق سقف حمام داخل الغرفة أو خارجها في مكان قريب.

يعمل نظام توزيع الهواء في نظم الهواء والماء بأي من البدائل التي قدمت. فقد يكون هذا النظام أحادي أو متعدد المناطق، وقد يكون ثابتاً أو متغيراً بالنسبة لمعدل حجم الهواء، السيد وآخرون (١٩٩٤/ب).



شكل ٧-٨ توضيح نظام تكييف الهواء والماء

٧-٨ إمداد الغرفة بالهواء الخارجي

ورد سابقاً، أن الغرف المختلفة في المبنى يلزم إمدادها بهواء خارجي، إما للمحافظة على نوعية جيدة للهواء بالغرف أو للتحكم في ضغط هواء الغرفة. وتنحصر نظم إمداد الغرف بالهواء الخارجي في النظم الآتية: استخدام نظام مستقل لتوزيع الهواء الخارجي على الغرف، أو إمداد الهواء الخارجي إلى وحدات مناولة الهواء، ووحدات الملف المروحية التي تعمل على خلطه بالهواء الراجع قبل توزيعه على الغرف.

يقوم النظام المستقل لتوزيع الهواء الخارجي بترشيحه قبل القيام بعملية التوزيع، وقد يصاحب ذلك في بعض النظم معالجة هذا الهواء حرارياً. ويتكون نظام التوزيع، كما هو متبع، من مداخل الهواء، ومرشح هواء، ومروحة، ووحدات معالجة حرارية، حسب الطلب، ومخارج لتوزيع الهواء بالغرف.

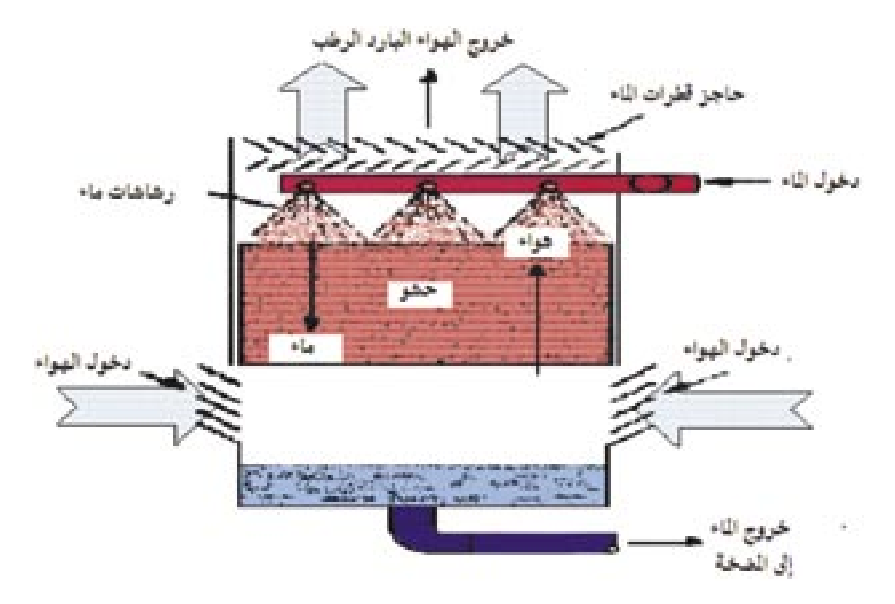
الفصل الثامن: النظم غير التقليدية لتكييف الهواء

- تكييف الهواء بالتبريد التبخيري. ■ تكييف الهواء باستخدام دورة المادة المازة.
- نظم استرجاع الطاقة. ■ نظم تبريد الحي. ■ استخدام التخزين الحراري.
- المحطات ثلاثية التوليد.

٨-١ تكييف الهواء بالتبريد التبخيري

ورد في الفصل الرابع استخدام تبخير الماء في الهواء للحصول على تأثير تبريدي. وتستخدم هذه الطريقة في بعض الأماكن التي تتميز بالجفاف النسبي للهواء الخارجي صيفاً. عندئذ، يستخدم تكييف الهواء بالتبريد التبخيري لتكييف الهواء نظراً للخفض الكبير الذي تعطيه هذه الطريقة في استهلاك الطاقة اللازمة لتشغيل النظام. ويبين شكل (٨-١) أحدى ماكينات تبريد الهواء بالتبخير، التي تستخدم بشكل تجاري. فكما هو مبين بالشكل، يدخل الهواء الجاف إلى الماكينة، ثم يسري لأعلى في اتجاه معاكس لسريان الماء الذي يسقط من أعلى تحت تأثير وزنه. يدخل الماء من أعلى حيث يتم رشه على هيئة جزيئات صغيرة للمساعدة على تبخيره بسرعة إلى الهواء. يخرج الهواء الرطب البارد من أعلى الماكينة.

تستخدم نظم توزيع الهواء التي قدمناها في الفصل السادس لتوزيع الهواء إلى الأماكن المكيفة حسب الاحتياج. ويعيب نظم التكييف بالتبريد التبخيري احتمال تلوث الهواء نتيجة لتعرض الماء للجو الخارجي، مما يجعله مرتعاً لنمو البكتريا والطحالب. وينصح عادة بالتنظيف الدوري مع استخدام بعض الكيماويات للتنظيف. ومن البدائل الأخرى المستخدمة لحماية الصحة من هذا النوع من التلوث، استخدام تكييف هواء بالتبريد التبخيري غير المباشر، وفي هذا النظام يستخدم مبادل حراري بين دورة تبريد الهواء بالتبخير، ودورة تبريد الهواء المستخدم لتكييف الغرف المختلفة بالمبنى. ويلاحظ زيادة التكلفة الأولية عند استخدام هذا المبادل الحراري.



شكل ٨-١ ماكينات تبريد الهواء بالتبخير

ونظراً لارتفاع محتوى الرطوبة بالهواء في نظم تكييف الهواء بالتبريد التبخيري المباشر، فإن هذه النظم تستخدم هواءً خارجياً بالكامل دون أي إعادة تدوير الهواء الداخلي، كما هو معتاد في النظم التقليدية لتكييف الهواء بالتبريد الميكانيكي. إلا أن هذا الشرط لا ينطبق، بالتأكيد، عندما يكون النظام غير مباشر، أي عند استخدام مبادل حراري بين الهواء المبرد بالتبخير والهواء الذي يتم توزيعه لتكييف الغرف ، حيث يمكن عندئذ استخدام نسبة من الهواء الداخلي مع نسبة من الهواء الخارجي لتكييف الهواء.

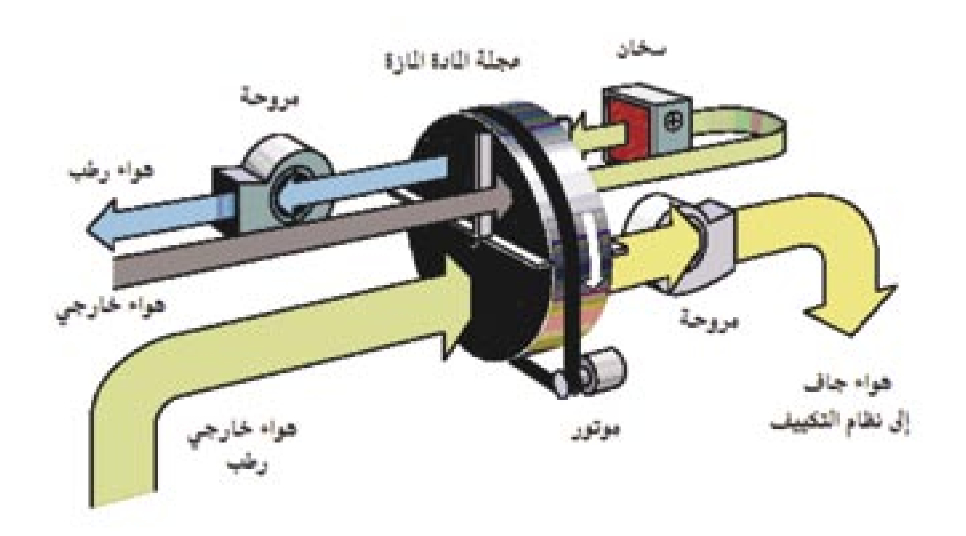
وتستخدم بعض التصميمات نظام التكييف بالتبريد التبخيري، كنظام مساعد لنظام تكييف الهواء الميكانيكي المعتاد، حيث يستخدم تكييف الهواء بالتبريد التبخيري عندما تكون رطوبة الهواء الخارجي منخفضة بالقدر الذي يسمح باستخدام هذا النظام، بينما يستخدم تكييف الهواء بالتبريد الميكانيكي المعتاد عندما ترتفع رطوبة الهواء عن القدر المناسب لاستخدام التبريد التبخيري.

٨-٢ تكييف الهواء باستخدام دورة المادة المازة

تستخدم المادة المازة بشكل تجاري في نظم التكييف لتجفيف الهواء والتحكم في

رطوبته النسبية عند قيم متدنية. ومن أشهر التطبيقات التي تستخدم هذه التقنية الصناعات الدوائية، والعديد من الصناعات الإلكترونية التي يتلزم أن تصنع في جو منخفض الرطوبة النسبية.

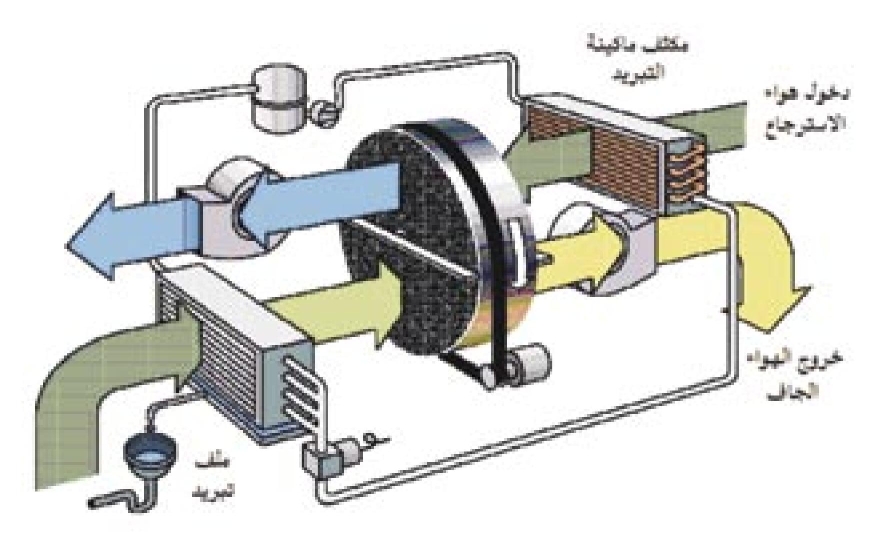
المادة المازة هي مادة شرهة لامتصاص بخار الماء عند درجات حرارة منخفضة، ويقل قدرة هذه المادة على الاحتفاظ ببخار الماء بارتفاع درجة حرارتها. تتوفر ماكينات المادة المازة على شكل عجلة مسامية تسمح بسريان الهواء خلالها كما هو مبين في شكل (٨-٢). تقسم العجلة إلى ثلاثة أجزاء. يسرى الهواء الرطب (هواء العملية) المطلوب نزع رطوبته خلال الجزء الأول من العجلة، فيتم تجفيف الهواء بينما تتشبع المادة المازة ببخار الماء. تتحرك عجلة المادة المازة لتصل المادة المازة المشبعة إلى الجزء الثاني من العجلة حيث يسري خلالها هواء ساخن (هواء استرجاع المادة المازة) يعمل على تجفيف المادة المازة واسترجاع محتوى الرطوبة بها إلى المستوى الأولي. ونظراً لدوران العجلة، تصل المادة المازة الجافة الساخنة إلى الجزء الثالث، حيث يبرد هذا الجزء بسريان هواء الاسترجاع قبل تسخينه.



شكل ٨-٢ عجلة المادة المازة لتجفيف الهواء

تصمم نظم تكييف الهواء المستخدمة للمادة المازة بعدة بدائل، حيث يمثل شكل (٨-٢) التصميم الأساسي. ويوضح شكل (٨-٣) أحد التصميمات البديلة التي تهدف إلى توفير طاقة التشغيل. يستخدم هذا البديل ملف تبريد أولي لتجفيف هواء العملية أولياً قبل التجفيف النهائي، باستخدام عجلة المادة المازة. وتقسم عجلة المادة المازة هنا إلى قسمين فقط، أحدهما لهواء العملية، والآخر لهواء الاسترجاع. ولتوفير الطاقة تستخدم الحرارة المطرودة من مكثف ماكينة التبريد لتسخين هواء الاسترجاع كما هو مبين بالشكل.

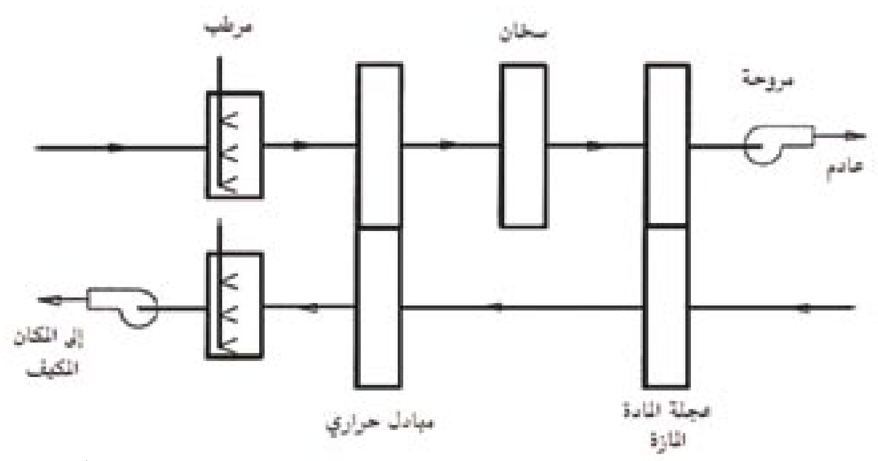
وتستخدم الشركات المصنعة لعجلة المادة المازة سيليكات الجيل (وهي أكثر المواد استخداماً)، ونخالة الكربون، وملح كلوريد الليثيوم، وغيرها من المواد المازة .



شكل ٨-٣ استخدام ماكينة تبريد مع العجلة المازة لتوفير الطاقة

تصمم بعض نظم تكييف الهواء بتجميع نظم التبريد بالتبخير مع نظم تجفيف الهواء، باستخدام المادة المازة للحصول على هواء بارد وجاف؛ بغرض تكييف الهواء صيفاً للمباني. ولقد لاقت هذه النظم نجاحاً، نظراً لما توفره من تكاليف التشغيل بخفض مقدار الطاقة. وينتج ذلك التخفيض في الطاقة نتيجة الاستغناء عن التبريد الميكانيكي المستهلك للطاقة. ويوضح شكل (٨-٤) . أحد هذه البدائل. فكما هو واضح بالشكل، يمرر الهواء الخارجي المستخدم في استرجاع عجلة المادة المازة على أربعة مكونات، فيمرر أولاً على مرطب مما يعمل على تبريده بعملية التبريد التبخيري،

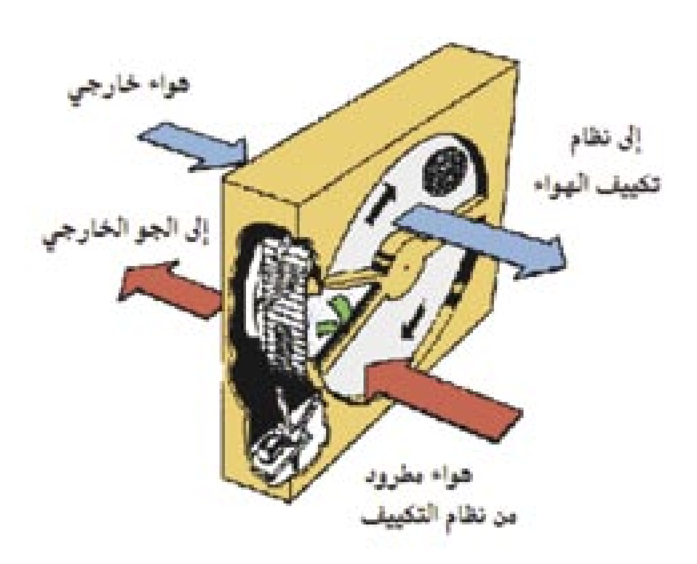
ثم يمرر على مبادل حراري، ليقوم بتبريد الهواء الموجه إلى المكان المكيف، ويمرر الهواء بعد ذلك على سخان لرفع درجة حرارته إلى القدر المطلوب لاسترجاع المادة المازة، ثم يمرر هذا الهواء أخيراً على المادة المازة لاسترجاعها قبل أن يطرد إلى الخارج باستخدام مروحة. يسري الهواء الموجه إلى المكان المكيف في اتجاه عكسي فيتم تجفيف هذا الهواء أولاً بتمريره خلال عجلة المادة المازة، ثم يسري الهواء على مبادل حراري مع هواء الاسترجاع، ثم أخيراً يسري خلال مبرد لخفض درجة حرارته بالتبريد التبخيري قبل دفعه إلى المكان المكيف باستخدام مروحة.



شكل ٨-٤ استخدام التبريد بالتبخير مع نظام المادة المازة لتكييف الهواء صيفاً

٨-٣ نظم استرجاع الطاقة

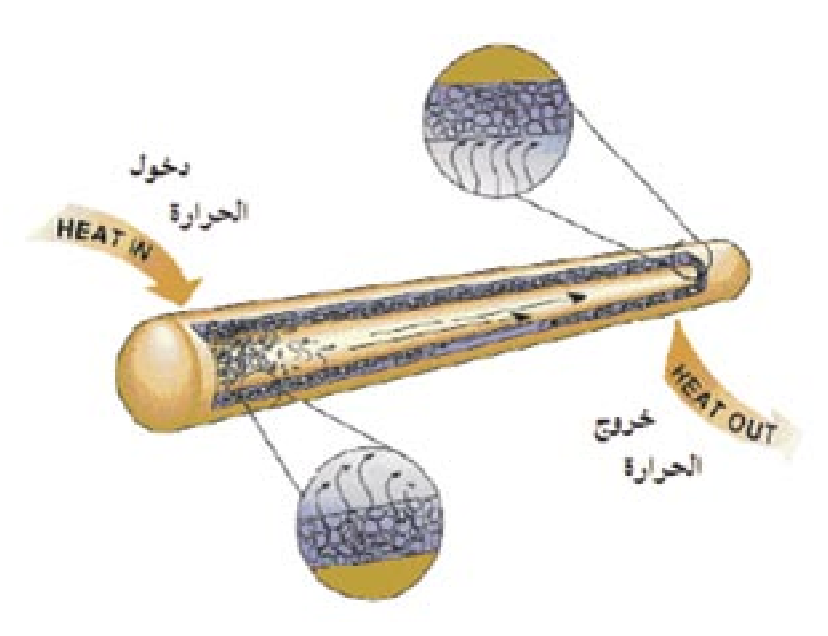
تستخدم نظم استرجاع الطاقة كواحدة من البدائل المتاحة، لتوفير طاقة تشغيل نظم تكييف الهواء. وتعمل هذه النظم على استرجاع الطاقة المتوقع طردها إلى خارج المبنى للاستفادة بها في المبنى. فمثلاً: إذا كان نظام تكييف الهواء يعمل على تبريد الهواء الخارجي الوارد إلى المبنى، وكان هذا النظام يعمل على طرد قدر من الهواء العائد من بعض الأماكن بالمبنى إلى خارج المبنى، مثل: الحمامات، أو بعض الأماكن التي تمد بقدر من الهواء الخارجي الزائد عن احتياجات ضبط ضغط الهواء بالمكان، وهو بالتأكيد هواء بارد نسبياً عن الهواء الخارجي، فإنه يمكن تبريد الهواء الخارجي باستخدام هذا الهواء المطرود من المبنى. ويستخدم هذا النظام نفسه أيضاً لاسترجاع الحرارة من الهواء المطرود من الحمامات، والمطابخ في نظم التدفئة في الأجواء الباردة.



شكل ٨-٥ مبادل حراري لاسترجاع الطاقة من الهواء المطرود من نظام التكييف إلى الهواء الخارجي

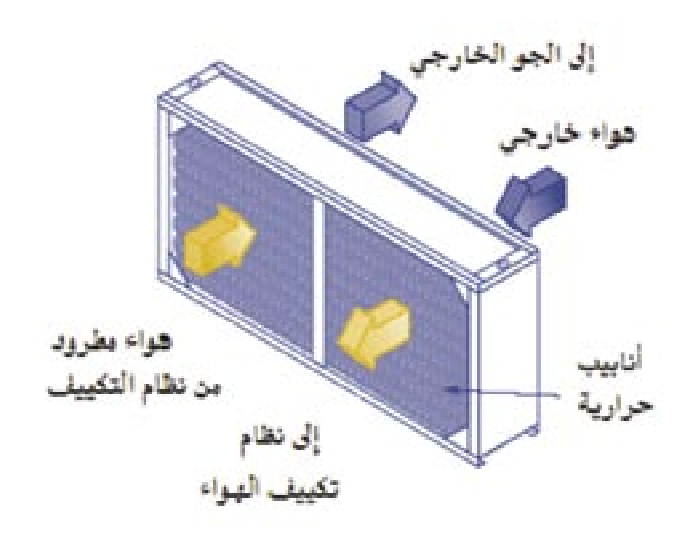
ويستخدم لاسترجاع الحرارة من سريان هواء إلى سريان آخر، عدة أنواع من المبادلات الحرارية. ويوضح شكل (٨-٥) واحداً من هذه المبادلات الحرارية، وهو المعروف باسم عجلة الطاقة، وهي عجلة من مادة مسامية جيدة التوصيل الحراري، تُعْرَف بمادة انتقال الحرارة، يُمرّر بها التياران الساريان في اتجاه عكسي لبعضهما البعض، فتقوم مادة انتقال الحرارة بنقل الحرارة من سريان لآخر.

ومن المبادلات الحرارية الأخرى المستخدمة كذلك، مبادل الأنبوب الحراري. وتعمل هذه المبادلات باستخدام نظرية الأنابيب الحرارية التي تقوم بنقل الحرارة بكفاية عالية من سريان لآخر. ويوضح شكل (٨-٦). الفكرة الأساسية لنقل الحرارة بأنبوب حراري. والأنبوب الحراري هو أنبوب مغلق من طرفيه يحوي داخله سائل، يمكنه الانتقال من أحد طرفي الأنبوب إلي الطرف الآخر بظاهرة الأنابيب الشعرية. بانتقال الحرارة من السريان الساخن إلى طرف الأنبوب يتبخر السائل الذي بداخله، ويتحرك البخار إلى الطرف الأخر للأنبوب، حيث يفقد الأنبوب حرارة إلى السريان البارد فيتكثف البخار. يسري السائل الذي تكثف داخل الأنبوب بالخاصية الشعرية، أو تحت تأثير الجاذبية إلى الطرف الساخن، حيث يعاد تبخيره مرة أخرى، وهكذا. ويوضح شكل (٨-٧) صورة لمبادل الأنابيب الحرارية.



شكل ٨-٦ الفكرة الأساسية لاستخدام أنبوب حراري لنقل الحرارة

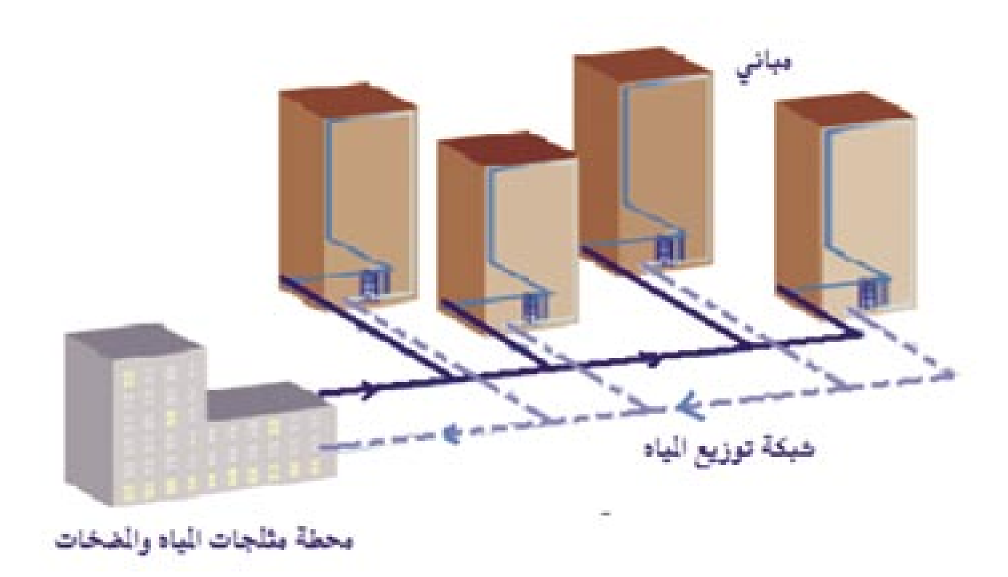
كذلك، يمكن استرجاع الحرارة المطرودة من معدات التبريد للاستفادة بها في المبنى، فمثلاً: يمكن تبريد معدات التبريد بمياه تستخدم من خلال مبادل حراري لتسخين مياه للاستخدام المنزلي، مما يساعد على توفير الطاقة المستهلكة بالمبنى.



شكل ٨-٧ مبادل الأنابيب الحرارية

٨-٤ نظم تبريد الحي

تُعَّرف نظم تبريد الحي بأنها: شبكة من المواسير التي تحمل ماءً مثلجاً كجزء من البنية التحتية للحي والخاصة بشبكات المياه والصرف الصحي، والكهرباء، والتليفونات وغيرها. ويلزم لهذا الغرض بناء محطة أو أكثر بالحي لماكينات تثليج المياه، والمضخات اللازمة لحركة الماء. وباستخدام هذه الطريقة تقوم المباني بسحب احتياجها من شبكة المياه المثلجة ودون الحاجة لبناء محطة مياه مثلجة لكل مبنى. ويلزم استخدام مبادل حراري بين شبكة المياه المثلجة، وكل مبنى يحتاج إلى الاستفادة من هذه الشبكة، لضمان عدم تلوث المياه المثلجة المركزية من خلال المبنى، ولمنع احتمال تسرب المياه المثلجة خلال شبكة تكييف الهواء بالمبنى .



شكل ٨-٨ نظام تبريد الحي

يتكون نظام تبريد الحي من ثلاثة أجزاء رئيسة كما هو مبين بشكل (٨-٨). يضم الجزء الأول: مثلجات المياه، ومضخات المياه، وخزان المياه المثلجة (اختياري) ، ونظام التحكم في تشغيل هذه المكونات. ويشمل الجزء الثاني: شبكة توزيع المياه المثلجة للحي، بينما يشمل الجزء الثالث: وحدات مناولة الهواء في المبنى، ومضخات المياه المثلجة للمبنى، وشبكة مواسير توزيع المياه المثلجة بالمبنى، بالإضافة لنظام التحكم في هذه المكونات.

ويمتاز استخدام تبريد الحي مقارنة ببناء محطة تبريد مستقلة لكل مبنى بانخفاض مقدار الطاقة اللازمة للتشغيل، وتصغير سعة التبريد الإجمالية لجميع المباني، ووجود مكان مركزي لصيانة مثلجات المياه بعيد عن المباني، وانخفاض مستوى الضوضاء الصادر عن مثلجات المياه بالقرب من المباني، وتوفير المساحة اللازمة لمثلجات المياه بكل مبنى. ونتيجة لهذه المميزات، فقد انتشر استخدام تبريد الحي في التجمعات السكنية، والمنشآت مترامية الأطراف كالجامعات، والمصانع، وغيرها.

ولقد تمت الاستفادة من فكرة تبريد الحي بشكل جيد لتوفير الطاقة في مدينة تورنتو بكندا، حيث يوجد العديد من المباني التي تحتاج إلى التبريد في الشتاء نظراً لوجود حمل حراري داخلي، وكما هي العادة في جميع المباني الكبيرة. فقد قامت واحدة من الشركات بالاستغناء عن محطة مثلجات المياه، واستخدام مياه بحيرة أونتاريو المثلجة في الشتاء، فأمكن الحصول على تبريد قدره ٤٠,٠٠٠ طن تبريد من البحيرة. ولتعظيم الفائدة الاقتصادية، تم استخدام شبكة واحدة لمياه الشرب وتبريد الحي شتاءً.

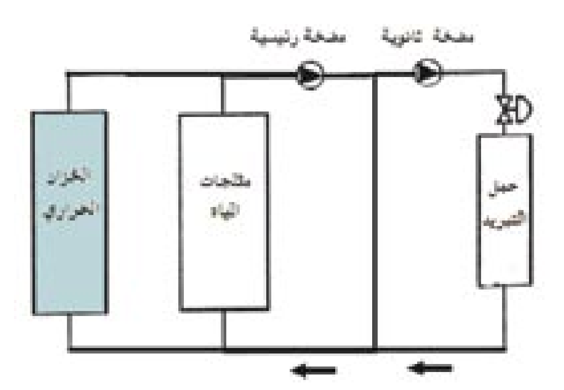
٨-٥ استخدام التخزين الحراري

يقصد بالتخزين الحراري: تخزين البرودة الزائدة عن الاحتياج للاستفادة بها في الأوقات التي يزيد فيها الاحتياج إلى سعة تبريد أكبر من تلك التي تنتجها مثلجات المياه. وتتوفر عدة تقنيات لتخزين البرودة، وأهم هذه التقنيات: التخزين في خزانات المياه، والتخزين في خزانات الثلج. يتم التخزين في خزانات المياه عن طريق خفض درجة حرارة المياه بالخزان. ويتناسب قيمة التخزين الحراري المتاح بالخزان مع حجم المياه فيه، ومعدل تغير درجة الحرارة بين تخزين الحرارة وتفريغها. ويبين شكل (٨-٩) استخدام خزان حراري في دورة المياه المثلجة، حيث يتم تخزين البرودة أو سحبها من الخزان حسب احتياجات حمل التبريد.

وبينما تتغير درجة حرارة المياه الناتجة من خزان المياه الباردة، تبعاً لدرجة حرارة المياه الباردة في الخزان، فإن استخدام خزانات الثلج يمتاز بإمكانية تثبيت

درجة حرارة المياه المثلجة المستخدمة في المباني المختلفة. كما يمتاز التخزين في الثلج باستخدام حجم خزان أصغر من حجم خزان الماء لمقدار الطاقة الحرارية المخزنة نفسها، حيث يكون حجم خزان المياه قرابة ٧ أضعاف حجم خزان الثلج.

ويتيح التخزين الحراري التشغيل المستمر لمثلجات المياه عند كامل طاقتها، مما يعني عملها عند أفضل كفاية تشغيل لها. ويؤدي ذلك إلى توفير في طاقة التشغيل لكل طن تبريد منتج من مثلجات المياه. يساعد استخدام التخزين الحراري، عموماً، على استخدام مثلجات مياه بسعة تبريد أصغر من مثيلتها عند الاستغناء عن التخزين الحراري. وينتج عن ذلك تصغير سعة أبراج التبريد، وكذلك مضخات مياه تبريد المكثفات وصغر أقطار شبكة توزيع هذه المياه. كما يساعد استخدام خزانات الثلج على استخدام مياه مثلجة لها فرق درجات حرارة قدره ١٠ درجات مئوية بدلاً مما هو معتاد (٥,٥ درجة مئوية). ويؤدي ذلك إلى تصغير أقطار شبكة مواسير توزيع المياه المثلجة، واستخدام مضخات أصغر حجماً، يؤدي انخفاض درجة حرارة المياه المثلجة كذلك، إلى استخدام وحدات مناولة هواء أصغر حجماً، وبالتالي انخفاض تكلفتها، ويؤدي ذلك إلى انخفاض درجة حرارة الهواء الخارج من وحدات مناولة الهواء، مما يقلل من معدل الهواء اللازم لتكييف الهواء، وبالتالي انخفاض تكاليف بناء نظام توزيع الهواء، مما يقلل من تكاليف بناء نظام تبريد الحي. ويزيد التوفير في هذه التكاليف عادة عن الزيادة المتوقعة نتيجة بناء نظام التخزين الحراري وملحقاته. أما عيوب استخدام التخزين الحراري فتشمل زيادة التكاليف الأولية لبناء نظام تكييف الهواء.



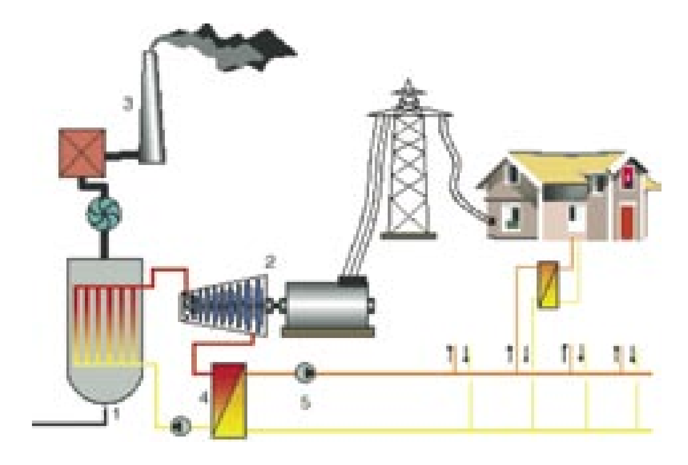
شكل ٨-٩ استخدام خزان حراري في دورة المياه المثلجة

تقوم شركات إنتاج وتوزيع الكهرباء في بعض الدول بوضع تسعيرة لبيع الطاقة الكهربائية، تعتمد على قيمة استهلاك الطاقة الكهربائية، وكذلك على قيمة أكبر معدل لاستهلاك الكهرباء يومياً والموعد والفترة الزمنية لاستخدام ذلك المعدل خلال اليوم. وتهدف هذه الطريقة للتسعير إلى تشجيع المستهلكين على ترحيل الحد الأقصى لاستهلاك الكهرباء إلى مواعيد أخرى خلال اليوم، عندما يكون إجمالي معدل الاستهلاك خلال شبكة الكهرباء في مستواه الأدنى؛ مما يساعد على توازن معدل توليد الطاقة الكهربائية. وبناءً على ذلك، يساعد استخدام التخزين الحراري على خفض الحد الأقصى لمعدل استهلاك الكهرباء، وبالتالي خفض تكاليف الاستهلاك.

ويمتاز نظام تخزين الثلج باستخدام قدرة كهربائية أقل؛ مما يعني استخدام سعات أصغر للمعدات الكهربائية المستخدمة لتغذية نظام التبريد والتكييف بالكهرباء، وبالتالي انخفاض التكاليف.

٨-٦ المحطات ثلاثية التوليد

تعمل المحطات التقليدية لتوليد القدرة الكهربائية بتحويل الطاقة الحرارية الناتجة من احتراق وقود إلى طاقة ميكانيكية، ثم طاقة كهربائية. ويعيب هذه المحطات أنه يمكنها الاستفادة فقط من ٣٣٪ من الطاقة المتاحة في الوقود، بينما تفقد المحطة ٦٧٪ من هذه الطاقة في صورة حرارة. ولقد عمل الباحثون دوماً على تحسين كفاية هذه المحطات، لخفض تكاليف إنتاج الكهرباء، بالإضافة إلى المساعدة

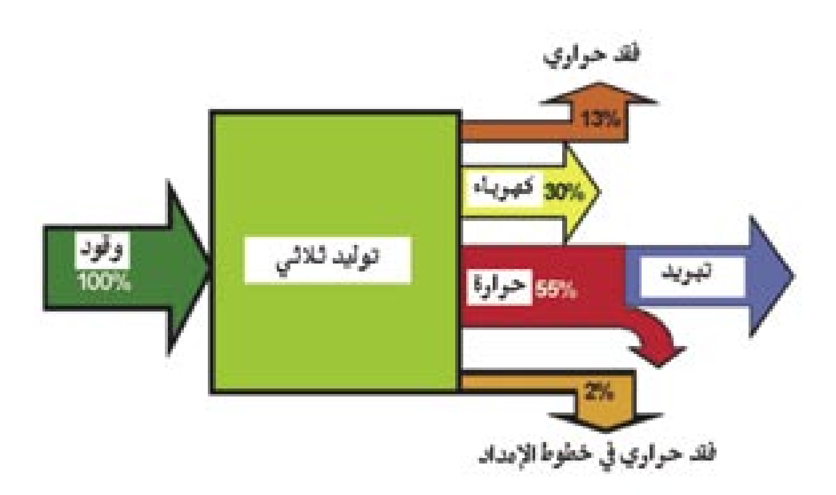


شكل ٨-١٠ محطة ثنائية التوليد

أيضاً على خفض الانبعاث الحراري من هذه المحطات لتكون صديقة للبيئة.

عُرِفَت المحطات ثنائية التوليد كواحد من البدائل لتحسين كفاية محطات توليد القدرة، مما يؤدي إلى فوائد اقتصادية وبيئية. وتعمل هذه المحطات على توليد قدرة كهربائية بالإضافة إلى توليد طاقة حرارية مفيدة (أو تأثير تبريدي) كما هو مبين في شكل (٨-١٠)، مما يؤدي إلى الاستفادة من حوالي ٨٠٪ من الحرارة المتولدة من احتراق الوقود، وطرد ٢٠٪ فقط إلى الجو الخارجي.

تُعرَف المحطات الثلاثية بأنها: محطات تنتج قدرة كهربائية وطاقة حرارية مفيدة وتأثير تبريدي (مياه مثلجة للاستخدام في نظم تكييف الهواء)، مما يعطي ـ مرة أخرى ـ فوائد اقتصادية وبيئية نتيجة خفض الحرارة المطرودة إلى الجو الخارجي إلى ١٣٪ فقط من الحرارة المتولدة من احتراق الوقود. ويوضح شكل(٨-١١) النسب المئوية للاستفادة من الطاقة الحرارية بالوقود لمحطة ثلاثية التوليد. وتصل كفاية عمل المحطات ثلاثية التوليد لما يقرب من ٨٨٪ مقارنة بكفاية عمل قدرها ٣٣٪ في المحطات التقليدية لتوليد القدرة الكهربائية فقط.



شكل ٨-١١ النسب المئوية للاستفادة من الطاقة الحرارية في الوقود لمحطة ثلاثية التوليد

تعمل المحطات ثلاثية التوليد بعدة بدائل للوقود. فتستخدم هذه المحطات السولار والغاز الطبيعي، أو أي مصادر حرارية أخرى. وتستخدم وحدات التبريد بالامتصاص (التي سبق تقديمها في الفصل الثالث) عادة مع المحطات ثلاثية التوليد نظراً لتوفر

مصدر حراري للطاقة بهذه المحطات. وتستخدم المحطات ثلاثية التوليد للعمل عادة في المصانع أو المنشآت الكبيرة كالجامعات، أو الأحياء السكانية التي تستخدم لتبريد الحي أوتدفئته. ولقد تمكنت بعض الشركات من تصنيع محطات صغيرة ثلاثية التوليد، تصلح للعمل في الوحدات السكنية الصغيرة، مما سهل استقلال كل وحدة سكنية، أو منشأة صغيرة في احتياجاتها من الطاقة بأنواعها المختلفة (كهربائية، وحرارية، وتأثير تبريدي).

الفصل التاسع: التحكم في نظم تكييف الهواء

■ أهمية التحكم في نظم تكييف الهواء. ■ مكونات نظم التحكم. ■ التحكم في درجة الحرارة. ■ التحكم في الرطوبة النسبية. ■ تطبيقات التحكم. ■ التحكم الرقمي. ■ بروتوكلات الاتصال. ■ مخططات التحكم الرقمي. ■ نظم إدارة المبنى.

٩-١ أهمية التحكم في نظم تكييف الهواء

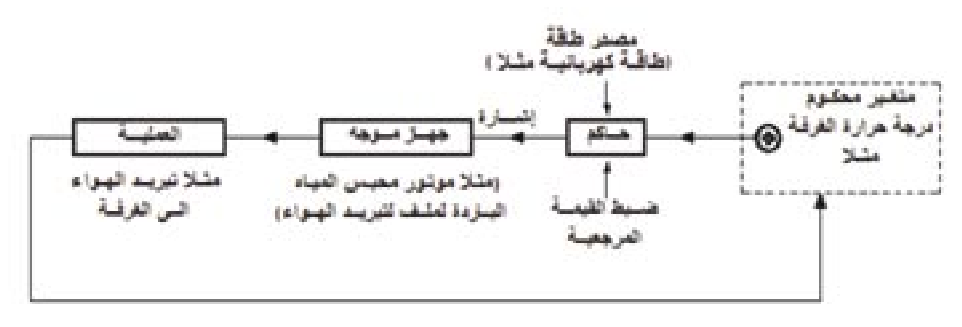
لا يمكن لنظم تكييف الهواء أن تعمل دون نظم للتحكم، حيث تعتبر هذه النظم بمثابة المكابح (الفرامل) للسيارة. ودون نظم التحكم لا يمكن لتكييف الهواء تحقيق الراحة الحرارية في الأماكن التي يتم تغذيتها. ودون هذه النظم ، يستمر أيضاً تكييف الهواء بالعمل دون توقف، ودون مراعاة لتغيير الحمل الحراري بالمكان، الناتج عن تغير ظروف الهواء الخارجي، وتغير إشغال المكان، كذلك تغير مقدار الحمل الحراري الداخلي بالمكان.

تطورت نظم التحكم تطوراً كبيراً عبر السنوات التي تطورت بها صناعة تكييف الهواء. فبينما كانت نظم التحكم في تكييف الهواء المركزي تعمل في الماضي بالهواء المضغوط، تطورت هذه النظم لتعمل بدوائر إلكترونية، ثم تطورت مرة أخرى فأصبحت نظم التحكم المعاصرة نظماً رقمية تستفيد من التقدم التقني في صناعة الكمبيوتر المعتمدة على التقنية الرقمية. ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع إلى أشري [ASHRAE, 2003 & 2005].

٩-٢ مكونات نظم التحكم

تعمل نظم التحكم على تغيير الأداء في عملية ما؛ بهدف تثبيت واحد أو أكثر من المتغيرات. فمثلاً: يقوم أحد نظم التحكم على فتح أو غلق محبس المياه الباردة الخاصة بملف تبريد الهواء، لتثبيت درجة حرارة الهواء بالغرفة. ويمكن أن يقوم نظام التحكم بتشغيل السخان الكهربائي بغرفة لتثبيت درجة حرارة الغرفة أيضاً، أو أن يعمل مغير السرعات لمروحة على زيادة أو خفض سرعة دوران المروحة؛ لتثبيت ضغط الهواء الخارج من المروحة، أو تشغيل أو إيقاف مروحة سحب الهواء من موقف

مغلق للسيارات بارتفاع أو انخفاض تركيز أول وثاني أكسيد الكربون في الهواء داخل الموقف، وهكذا. ويعرف المتغير المطلوب التحكم فيه بالمتغير المحكوم (درجة الحرارة مثلاً) ويتصل هذا المتغير بالحاكم الذي يمثل العقل لنظام التحكم، ويعمل على أخذ القرارات المطلوبة.



شكل ٩-١ مكونات دائرة التحكم

تتكون دائرة التحكم من خمسة مكونات رئيسة كما هو موضح في بشكل (٩-١). أول هذه المكونات: هو المجس الذي يعمل على قياس قيمة المتغير المحكوم (كدرجة حرارة الهواء مثلاً)، والتي تعمل دائرة التحكم على تثبيت قيمته. يقوم هذا المجس بإرسال قيمة المتغير المحكوم إلى الحاكم الذي يقوم بمقارنة هذه القيمة بالقيمة المرجعية للمتغير المحكوم. وبالتأكيد، يمكن تغيير هذه القيمة المرجعية حسب الحاجة. فمثلاً: يقوم الشخص الموجود بالغرفة بضبط القيمة المرجعية لدرجة الحرارة بالغرفة عن طريق الثرموستات الموجود بالغرفة. ثاني المكونات هو: مصدر الطاقة التي يحتاجها الحاكم للعمل، وتستخدم عادة الطاقة الكهربائية لذلك، وإن كان من المتبع استخدام طاقة ضغط الهواء في الماضي. ثالث المكونات هو: الحاكم الذي يقوم بحساب الفرق بين قيمة المتغير المحكوم، والقيمة المرجعية له، ثم يرسل الحاكم إشارة تتغير قيمتها تبعاً لقيمة هذا الفرق. رابع المكونات هو: الموجه الذي ينفذ قرار الحاكم بعد استقبال الإشارة. ويكون الموجه عادة محركاً أو مفتاحاً كهربائياً لإحدى العمليات التي تعمل على التحكم في قيمة المتغير المحكوم. خامس المكونات هي: العملية التي تعمل على تثبيت قيمة المتغير المحكوم. فمثلاً: قد تكون هذه العملية تبريد الهواء بتشغيل ماكينة تبريد، أو تسخين ماء بتشغيل موقد الغاز لسخان الماء، أو السماح للهواء بالسريان إلى الغرفة بفتح خانق الهواء الوارد إلى

الغرفة، أو تشغيل مرطب الهواء لرفع نسبة الرطوبة، وغير ذلك من العمليات المتبعة في تكييف الهواء، وبناءً على أداء هذه العملية يتم تغيير قيمة المتغير المحكوم، السيد وآخرون (١٩٩٤/ب).

٩-٣ التحكم في درجة الحرارة

التحكم في درجة الحرارة هو أكثر أنواع التحكم استخداماً في نظم تكييف الهواء. وأكثر أنواع مجسات درجات الحرارة استخداماً هو المجس ثنائي الفلز، ومجس المقاومة الكهربائية. ويتكون المجس ثنائي الفلز من: فلزين معدنين مختلفين في مقدار التمدد والانكماش بتغير درجات الحرارة. يلتصق الفلزان معاً كما هو موضح في شكل (٩-٢)، مما يسبب انحناء الفلزين للخارج أو الداخل مع تغير درجة الحرارة عن الدرجة المرجعية التي تم التصاق الفلزين عندها. وبتثبيت الفلزين من أحد الطرفين وترك الطرف الآخر حر الحركة، تنتج حركة للطرف الحر مع تغير درجة الحرارة. ويستفاد من هذه الحركة في القيام بالتحكم لتثبيت درجة الحرارة عند القيمة المرجعية المطلوبة. ويعمل مجس المقاومة الكهربائية باستخدام خاصية تغير المقاومة الكهربائية، مع تغير درجة الحرارة، ويستخدم هذا المجس بكثرة في النظم الحديثة للتحكم الرقمي.

تضم نظم تكييف الهواء عدة تطبيقات للتحكم في درجة الحرارة، وأهم هذه التطبيقات الآتي:

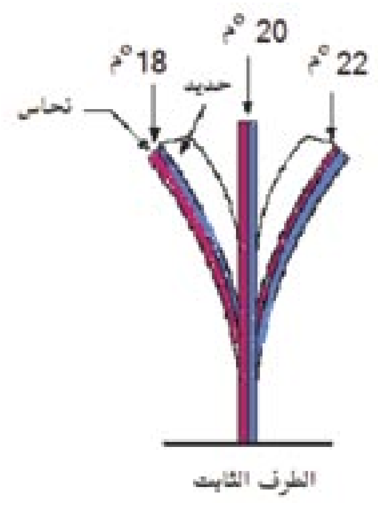
١. التحكم في درجة حرارة الهواء.

٢. التحكم في درجة حرارة المياه الباردة، أو المياه الساخنة.

ومن الشائع عادة وجود مجس لدرجة الحرارة والتحكم معاً في مكون واحد يعرف بالترموستات. يستخدم الترموستات في العديد من التطبيقات. فعلى سبيل المثال: يستخدم ترموستات الغرفة الذي يعمل على تثبيت درجة حرارة الهواء بالغرفة على التحكم في نظم تكييف الهواء المستخدمة لتكييف الهواء بالغرف. ويستخدم الترموستات؛ لتثبيت درجة حرارة الماء المثلج الخارج من مبردات المياه، وذلك عن طريق تغيير أداء هذه المبردات لتحقيق المطلوب. كما يستخدم الترموستات كذلك؛

لتثبيت درجة حرارة الماء الساخن القادم من سخانات المياه الكهربائية.

ولا يقتصر استخدام مجس درجة الحرارة على التحكم فقط في درجة حرارة الهواء، أو الماء، إلى الغرف، وإنما تستخدم هذه المجسات كذلك، لحماية المعدات والأجهزة من التلف. فمثلاً: يستخدم مجس درجة الحرارة بالقرب من سخّانات الهواء الكهربائية للحماية من احتمال التسخين الزائد الذي قد يسبب حريقاً، ويستخدم مجس درجة الحرارة لمراقبة درجة حرارة الماء الخارج من مثلجات المياه؛ لضمان عدم انخفاض درجة حرارة الماء عن حد السماح اللازم لحماية الماء من التجمد. وسيرد في جزء لاحق من الفصل الحالي العديد من التطبيقات الأخرى للتحكم بقياس درجات الحرارة، السيد وآخرون (١٩٩٤/ب).



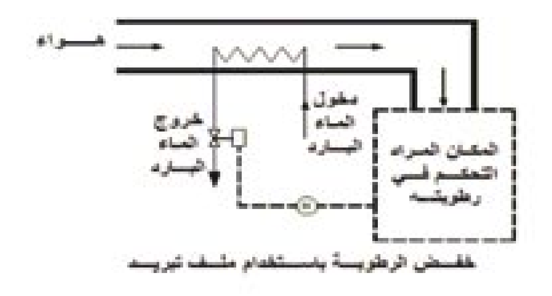
شكل ٩-٢ رسم تخطيطي يوضح عمل حاس درجة الحرارة ثنائي المعدن

٩-٤ التحكم في الرطوبة

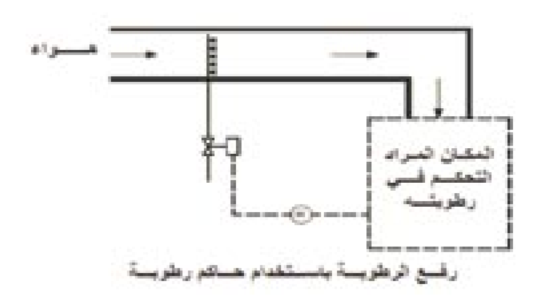
تحتاج بعض تطبيقات تكييف الهواء وليس جميعها إلى التحكم في رطوبة الهواء. ويقصد بالتحكم في الرطوبة ترطيب الهواء أو تجفيفه حسب الحاجة، للمحافظة على رطوبة الهواء بالغرفة عند القيمة المرجعية للتصميم. فمثلاً: للحصول على مستوى مقبول من الراحة الحرارية في الأماكن المزدحمة يلزم التحكم لخفض الرطوبة

النسبية للهواء بالإضافة إلى تبريده. ومن التطبيقات المماثلة لذلك، تكييف الهواء صيفاً للأماكن المزدحمة، مثل: المساجد، والأسواق التجارية، وقاعات المحاضرات، والمسارح، والمطاعم، وغيرها، حيث يسبب ارتفاع الإشغال لكل متر مربع زيادة حمل بخار الماء بالمكان المكيف؛ مما يسبب الشعور بعدم الراحة، ما لم يتم التحكم في الرطوبة النسبية بالمكان. وتحتاج بعض الأماكن المكيفة كذلك، إلى رفع رطوبتها شتاءً، بالإضافة إلى تدفئة الهواء؛ نظراً لانخفاض نسبة الرطوبة في الهواء الخارجي البارد. كما يحتاج نظام تكييف الهواء المستخدم في غرف الكومبيوتر وغيرها إلى تحكم دقيق في درجة الحرارة والرطوبة في مدى ضيق لكل منهما في جميع الأوقات، للمحافظة على أداء مقبول لأجهزة الكومبيوتر والمكونات المصاحبة لها.

ويتطلب تكييف الهواء الصناعي في صالات الإنتاج لبعض الصناعات التحكم في الرطوبة النسبية وذلك بغض النظر عن ضرورة وجود أو عدم وجود تحكم في درجة الحرارة. فمثلاً: يتطلب تخزين الحبوب هواءً جافاً نسبياً، بغض النظر عن درجة الحرارة للمحافظة على هذه الحبوب أطول فترة ممكنة، بينما تحتاج صالات إنتاج الغزل إلى المحافظة على الهواء الداخلي لصالات الإنتاج عند رطوبة نسبية مرتفعة طوال فترة



خفض الرطوبة باستخدام ملف تبريد



رفع الرطوبة باستخدام حاقن رطوبة

شكل ٩-٣ التحكم في الرطوبة

الإنتاج. كما يتطلب إنتاج بعض أنواع الأدوية تحكماً في الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة تبعاً لنوع الدواء المنتج، فيحتاج بعضها رطوبة نسبية منخفضة عن ماتحتاجه الأخرى.

تختلف نظم التحكم في الرطوبة النسبية تبعاً للمتوقع من هذه النظم. فتستخدم النظم التي تعمل على الحماية من انخفاض الرطوبة النسبية عن القيمة المرجعية الموصى بها في التصميم مرطباً يعمل على رفع الرطوبة في الهواء تبعاً لقيمة الرطوبة التي يقرأها حاكم الرطوبة كما هو مبين في شكل (٩-٣). وهناك عدة أنواع للمرطبات تتفاوت تبعاً لطريقة ترطيب الهواء. فمنها ما يقوم بحقن بخار الماء في الهواء، ومنها ما يقوم برش جزيئات دقيقة من الماء في الهواء. ويُسْتَخْدم بعض هذه المرطبات بخار الماء الساخن كمصدر حراري لها، بينما يُسْتَخْدم بعضها الآخر مصدراً كهربائياً للتسخين.

وتستخدم النظم التي تعمل على الحماية من ارتفاع الرطوبة حاكم رطوبة، يعمل على التحكم في ملف تبريد الهواء، ولتكثيف بخار الماء به لخفض رطوبته (انظر شكل ٩-٣). ونظراً لاستخدام ملف تبريد لخفض الرطوبة، فإن هذا النظام يستخدم معه عادة سخاناً لضبط درجة الحرارة في حالة إذا تسبب ملف التبريد في خفضها دون الدرجة المطلوبة بالمكان. ومن البدائل الأخرى المستخدمة لخفض رطوبة الهواء، استخدام مجففات المادة المازة. وتحوي هذه المجففات مواد كيمائية تعمل على سحب بخار الماء من الهواء عند تمريره خلالها، وتسبب هذه المجففات ارتفاعاً ملحوظاً في درجة حرارة الهواء، مما يتطلب تبريد هذا الهواء إذا لم يكن ذلك مرغوباً في الغرفة.

٩-٥ تطبيقات التحكم

تضم نظم تكييف الهواء العديد من دوائر التحكم التي تعمل للتحكم في المتغيرات المختلفة بنظام التكييف. ويعتمد تصميم دوائر التحكم وعدد المتغيرات التي تقوم بالتحكم بها أو مراقبة قيمتها على الأداء المتوقع من هذه الدوائر. نورد فيما يلي عرضاً لبعض التطبيقات التي تستخدم، عادة في نظم تكييف الهواء.

المتغير	الهدف
درجة حرارة الغرفة	مراقبة و/أو التحكم في درجة الحرارة.
درجة حرارة الهواء الخارجي	مراقبة .
درجة حرارة الهواء داخل مجرى الهواء الوارد	مراقبة و/أو التحكم في درجة حرارة الهواء بمجرى الهواء لتوفير طاقة التشغيل أو للحصول على تحكم دقيق في درجة حرارة الغرفة.
درجة حرارة الهواء داخل مجرى الهواء الراجع	مراقبة و/أو التحكم في درجة حرارة الغرفة.
الرطوبة النسبية بالغرفة	مراقبة و/أو التحكم .
الرطوبة النسبية بمجرى الهواء الوارد	مراقبة و/أو التحكم في الرطوبة النسبية للهواء بمجرى الهواء؛ بهدف التحكم في الرطوبة النسبية بالغرفة
الرطوبة النسبية بمجرى الهواء الراجع	مراقبة و/أو التحكم في الرطوبة النسبية للهواء؛ لتوفير طاقة التشغيل أو للحصول على تحكم دقيق في الرطوبة النسبية بالغرفة.
ضغط الهواء بالغرفة	مراقبة و/أو التحكم في ضغط هواء الغرفة؛ لمنع انتقال الملوثات من أو إلى الغرفة.

الهدف	المتغير
مراقبة و/أو التحكم في ضغط الهواء بمجاري الهواء في حالة نظم حجم الهواء المتغير؛ لضمان أداء مستقر لنظام تكييف الهواء.	ضغط الهواء بمجرى الهواء الوارد أو الراجع
مراقبة التركيز لحماية الأشخاص الموجودين بالمكان من الاختناق، وإصدار إنذار، وتشغيل المعدات اللازمة للحماية من الحريق.	تركيز ناتج احتراق بالغرفة أو مجرى الهواء الوارد أو الراجع
مراقبة التركيز لحماية الأشخاص الموجودين بالمكان من الاختناق، و/أو الحماية من خطورة ارتفاع التركيز عن حد معين و إصدار إنذار، و تشغيل المعدات اللازمة للحماية.	تركيز نوع معين من الغازات في الهواء
مراقبة إشغال الغرفة للتحكم في عمل معدات التكييف؛ لتوفير الطاقة نتيجة التفرقة بين إشغال الغرفة أو عدم إشغالها.	إشغال الغرفة
مراقبة نوعية الهواء بالغرفة؛ للمحافظة على صحة الشاغلين للغرفة؛ وذلك عن طريق التحكم في أداء معدات نظام تكييف الهواء، أو عمل الصيانة اللازمة.	نوعية الهواء بالغرفة

المتغير	الهدف
سرعة الهواء في مجرى الهواء	مراقبة و/أو التحكم في معدل سريان الهواء.
معدل سريان الهواء في مجرى الهواء	مراقبة و/أو التحكم في معدل سريان الهواء.

تطبيقات الماء البارد أو الساخن

المتغير	الهدف
درجة الحرارة	مراقبة و/أو التحكم في درجة حرارة الماء.
الضغط	مراقبة و/أو التحكم في ضغط الماء.
معدل السريان	مراقبة و/أو التحكم في معدل سريان الماء.

تطبيقات معدات نظم تكييف الهواء

المتغير	الهدف
التيار الكهربائي	مراقبة و/أو قياس شدة التيار الكهربائي للمُعدة.
الفولت الكهربائي	مراقبة و/أو قياس قيمة الجهد الكهربائي للمعدة.
الطاقة الكهربائية المستهلكة	قياس قيمة الاستهلاك للمعدة.
فتحة خانق الهواء	فتح أو إغلاق أو تغيير مقدار فتحة الخانق؛ للتحكم في معدل سريان الهواء .

فتحة محبس المياه	فتح أو إغلاق أو تغيير مقدار فتحة المحبس؛ للتحكم في معدل سريان الماء
توصيل أو فصل الطاقة الكهربائية عن المعدة	إيقاف أو تشغيل المُعدة.
حالة المفتاح الكهربائي	التعرف على حالة المفتاح إن كان مفتوحاً أم مغلقاً

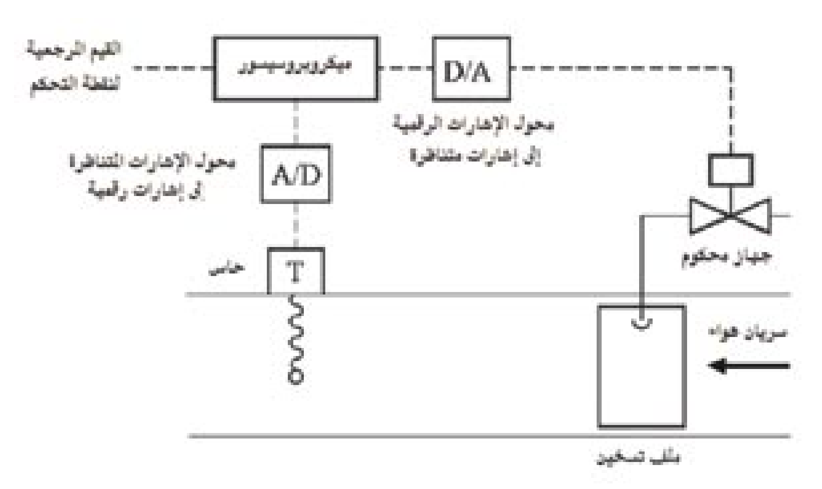
٩-٦ التحكم الرقمي

كان لاكتشاف تقنية الحاسب الآلي واستخدام الميكروبروسيسور كعقل صناعي للحاسب الآلي أثره الكبير على تطوير التقنيات المستخدمة في النظم المختلفة، ومنها نظم التحكم.

تعتمد تقنية التحكم الرقمي على استخدام ميكروبروسيسور أو أكثر لإجراء العمليات والإجراءات اللازمة للدوائر المختلفة للمراقبة والتحكم. وتنقسم إشارات التحكم في المخاطبة بين مكونات دارة التحكم إلى قسمين أساسيين هما: إشارات رقمية، وإشارات تماثلية. تأخذ الإشارة الرقمية القيمتين صفر أو واحد فقط، وهي الإشارات التي يفهمها ويتعامل معها أي ميكروبروسيسور. وتأخذ الإشارة التماثلية قيم لا نهائية تقع بين صفر و مقدار محدد، ولا يمكن أن يتعامل الميكروبروسيسور مع هذا النوع من الإشارات ويلزم تحويل أي إشارة تماثلية إلى إشارة رقمية حتى يمكن للميكروبروسيسور من التعامل معها.

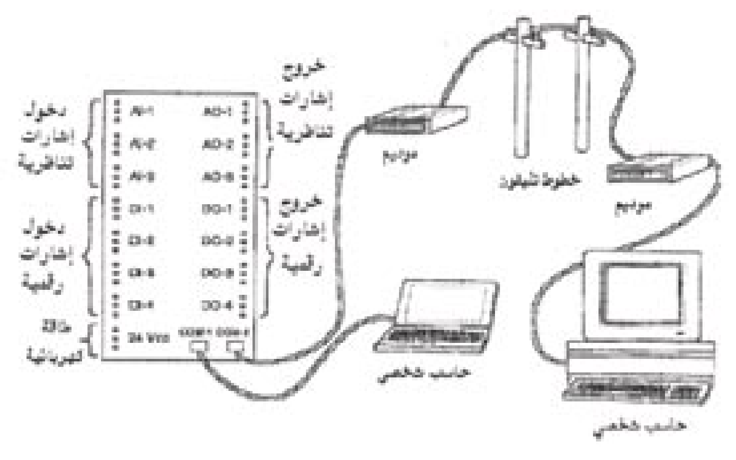
تتكون دائرة التحكم الرقمي من المكونات الرئيسة الآتية كما هو موضح بشكل (٩-٤) :

- مجس لقياس قيمة المتغير المحكوم المطلوب التحكم في قيمته أو مراقبته.
- محول الإشارات التماثلية إلى إشارات رقمية.
- ميكروبروسيسور.
- محول الإشارات الرقمية إلى تماثلية.
- الأجهزة المحكومة التي يتم التحكم بها.



شكل ٩-٤ المكونات الأساسية لدائرة التحكم الرقمي

فمثلاً: يوضح شكل (٩-٤) دارة تحكم لتثبيت درجة حرارة الهواء الخارج من ملف التسخين. وكما هو مبين يقوم الحاكم (الميكروبروسيسور) بمقارنة درجة الحرارة التي يقرؤها مجس درجة الحرارة بالقيمة المرجعية المطلوب تثبيت درجة الحرارة عندها، ثم يعمل الميكروبروسيسور على فتح أو إغلاق محبس مياه التسخين في ملف التسخين، تبعاً لاحتياج التسخين. ولقد قام المصنعون بتصنيع كروت تحكم رقمية تجمع العديد من المكونات معاً في كارت واحد. وتشمل هذه المكونات: محول الإشارات التماثلية إلى إشارات رقمية، وميكروبروسيسور، ومحول الإشارات الرقمية إلى تماثلية، بالإضافة إلى نقاط التوصيل الطرفية لدخول وخروج الإشارات من



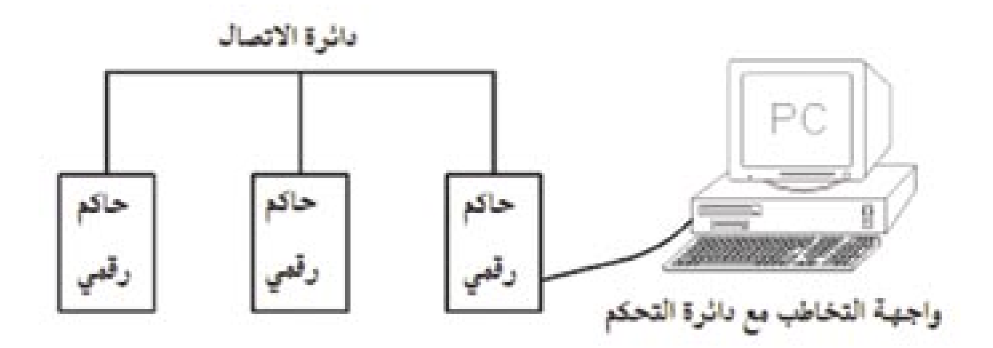
شكل ٩-٥ توصيل كارت تحكم رقمي إلى الحاسب الآلي

المجسات ومن وإلى الأجهزة الأخرى المتصلة بالكارت.

يبين شكل (٩-٥) واحداً من كروت التحكم الرقمية الحديثة. وكما هو واضح من الشكل، فإن للبطاقة (الكارت) سبع وصلات طرفية لدخول الإشارات، منها ٣ وصلات للإشارات التماثلية، و٤ وصلات للإشارات الرقمية، كما يوجد بالبطاقة سبع وصلات طرفية أخرى لخروج الإشارات التماثلية والرقمية من البطاقة (الكارت)، ويختلف هذا العدد من كارت لآخر، ولا يشترط تساوي الوصلات الطرفية للدخول مع تلك الخاصة بالخروج. يوجد كذلك، بالبطاقة وصلات لتغذيتها بالطاقة، بالإضافة إلى وصلتين للتخاطب مع البطاقات الأخرى أو مع واجهة التخاطب مع المشغل.

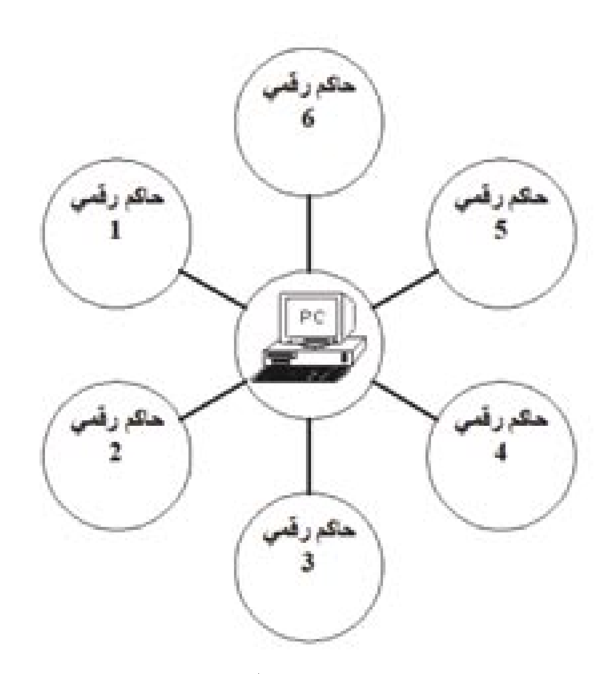
تستخدم واجهة التخاطب بين بطاقة التحكم الرقمي، والمشغل للقيام بأعمال البرمجة بالإضافة إلى مراقبة المكونات المختلفة لدائرة التحكم. ويستخدم الحاسب الآلي (الكومبيوتر) عادة كواحد من البدائل المتاحة كواجهة للتخاطب. ويلزم استخدام برنامج خاص لذلك، وتقوم الشركات المصنعة لبطاقات التحكم بإعداد هذا البرنامج. ويتيح استخدام الحاسب الآلي التعامل مع دائرة التحكم عن بعد باستخدام خط تليفون أو الإنترنت أو بالقرب من بطاقات التحكم، كما هو موضح بشكل (٩-٥).

تتكون دوائر التحكم من بطاقة أو عدة بطاقات تبعاً لحجم النظام الذي تتعامل معه هذه البطاقات. وتتصل هذه البطاقات مع بعضها البعض ومع جهاز حاسب آلي أو أكثر لتكون معاً شبكة دوائر التحكم، كما هو موضح بشكل (٩-٦). وتعمل كل بطاقة بالقيام، بشكل مستقل، بالمهام الموكلة لها للتحكم أو مراقبة الأداء لجزء من النظام، مثل التحكم في تشغيل وحدة مناولة هواء أو أكثر، أو مراقبة الجو الخارجي، أو التحكم في تشغيل مروحة سحب الدخان وغيرها، بالإضافة إلى إمداد البطاقات الأخرى بما تحتاجه من معلومات. ويستطيع المشغل الاطلاع على البيانات الخاصة بكل بطاقة عن طريق شاشة العرض بحاسب آلي أو أكثر متصل بشبكة التحكم.



شكل ٩-٦ دائرة اتصال تتابعية

ويتخذ الشكل الهندسي لتوصيل البطاقات مع بعضها عدة بدائل. فمنها ما يكون التوصيل على شكل محطات متصلة مع بعضها، مع وجود بداية ونهاية للشبكة، كما هو موضح في شكل (٩-٦)، وتعرف دائرة الاتصال عندئذ، بدائرة تتابعية، أو أن يكون التوصيل على شكل نجمة كما هو مبين بشكل (٩-٧)، وتعرف الدائرة عندئذ بدائرة نجمية. وفي هذه الشبكة تتصل جميع البطاقات مع الحاسب الآلي دون أن تتصل مع بعضها البعض بشكل مباشر.



شكل ٩-٧ دائرة اتصال نجمية

٩-٧ بروتوكلات الاتصال

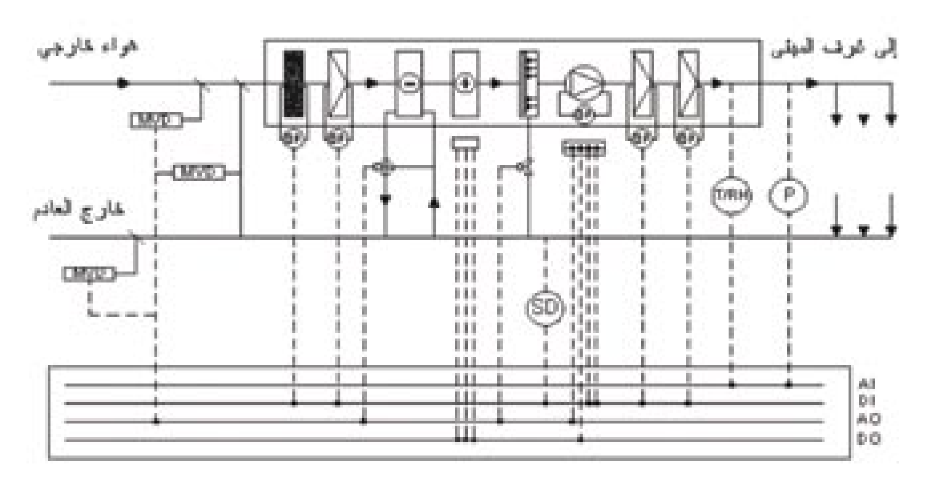
تحتاج الحاكمات الرقمية إلى بروتوكول للاتصال أو لغة للتخاطب فيما بينها. ويُقصد بهذه اللغة: قواعد تنظيم تمرير المعلومات من حاكم إلى آخر، وكذلك بين الأجهزة والمعدات والمجسات المتصلة بشبكات دوائر التحكم. ولقد كان من المعتاد أن يقوم كل مصنع للحاكمات الرقمية بوضع لغة التخاطب الخاصة به، بحيث لا يتمكن مصنع آخر من التعامل بها، مما يعني عدم إمكانية استخدام حاكمات من مصادر تصنيع مختلفة في شبكة واحدة للتحكم. ولقد نتج عن هذا الوضع احتكار الشركات المصنعة للحاكمات للمشاريع التي تحوي نوعاً معيناً من الحاكمات، حيث أصبح من الضروري للعميل قبول أي سعر تفرضه الشركات لاستبدال الحاكمات عند وجود أي مشكلة بها، أو عند وجود أي توسعات بالمشروع مما يتطلب إضافة دوائر تحكم جديدة، تعمل جنباً إلى جنب مع الدوائر الموجودة بالمشروع. ونتج عن ذلك؛ الحاجة إلى استنباط بروتوكول مفتوح أو لغة عامة تُخَاطَب بها جميع الحاكمات أياً كان مصدرها. وبالفعل، نجحت صناعة التحكم في ذلك، وأصبح هناك لغتان للتخاطب بين الحاكمات، تُعرف الأولى باسم باكنت (Bacnet). والأخرى باسم لونورك (Lonwork). ونجحت الشركات في تصنيع بوابات عبور للترجمة بين الشبكات التي تعمل بلغة التخاطب الخاصة بأي شركة، وبين الشبكات التي تعمل بأي من اللغتين العامتين باكنت أو لونورك.

٩-٨ مخططات التحكم الرقمي

يقوم المهندس الاستشاري المسؤول عن تصميم النظم المركزية لتكييف الهواء بوضع المواصفات الخاصة بجميع المعدات التي يتكون منها هذا النظام، ومنها بالطبع دوائر التحكم الرقمية التي يشملها نظام التحكم. وتضم هذه الموصفات عادة مخططات توضح المطلوب من نظام التحكم لكل مُعدة بمفردها وعلاقتها بالمُعدات الأخرى.

ويوضح شكل (٩-٨) مخططاً نمطياً لنظام تحكم رقمي لوحدة معالجة هواء. ويوضح الشكل المتغيرات التي يتم قياسها أو مراقبتها، كما يوضح المخطط إن كانت

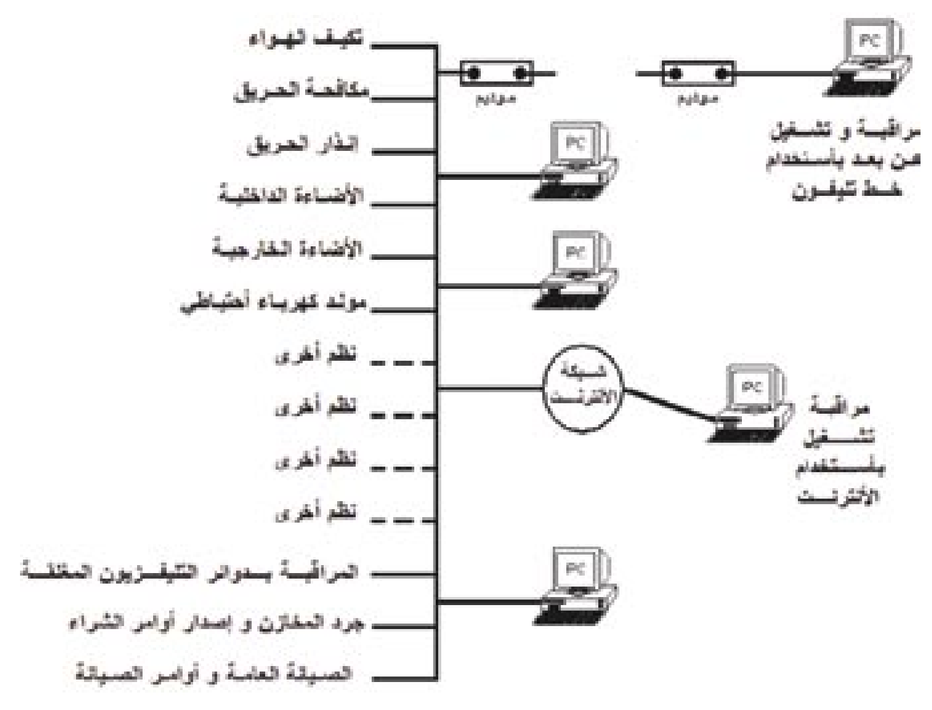
هذه الإشارات رقمية أو تماثلية (انظر الجزء السفلى من المخطط). ويصاحب هذا المخطط شرح للتحكم المطلوب، وكيفية تحقيق ذلك وما يجب عمله من قبل مهندس التحكم للوفاء بمتطلبات التصميم. ويوجد لدى مهندسي تكييف الهواء قائمة بالرموز المستخدمة في إعداد هذه الرسومات.



شكل ٩-٨ مخطط نمطي لنظام تحكم رقمي لوحدة معالجة هواء

٩-٩ نظم إدارة المبنى

ساعد ظهور تقنية التحكم الرقمي على إمكانية استخدام الميكروبروسيسورات لإعداد برنامج التحكم، واستخدام شاشات لاستعراض قيم المتغيرات المختلفة لحظيا، ومتابعة أداء المعدات التي يتكون منها نظام تكييف الهواء، وتسجيل أداء هذه المعدات في جميع الأوقات، سواءً التي يوجد بها مراقب التشغيل بالقرب من واجهة التشغيل والمراقبة (الحاسب الآلي مثلاً)، أو بعيداً عنه. كما يمكن لنظام التحكم إصدار الإنذارات للمكونات التي قد تحتاج إلى صيانة عاجلة، كقطع سير المروحة مثلاً، أو الصيانة الدورية للمعدة بعد العمل لعدد معين من الساعات.



شكل ٩-٩ رسم توضيحي لنظام إدارة المبنى

ونظراً لسهولة استخدام دارات التحكم الرقمي، والمميزات الكثيرة لها، فقد انتشر استخدام هذه الدارات للتحكم في العديد من النظم الموجودة بالمباني، مثل: تكييف الهواء، والإنذار بالحريق، ومكافحته، والإضاءة الداخلية والخارجية، والمصاعد، والأمن والمراقبة، ودخول وخروج الأفراد إلى المناطق المختلفة من المبنى وغيرها. وقامت الشركات المصنعة للحاكمات الرقمية: بإعداد برامج متخصصة للحاسب الآلي الشخصي للتعامل مع جميع هذه النظم مجتمعه في آن واحد. كما أمكن توصيل أكثر من حاسب آلي إلى نظام التحكم؛ لإتاحة الفرصة لأكثر من شخص بمراقبة نظام التحكم، واتخاذ القرارات اللازمة لتشغيله. ولقد سُمّي النظام بنظام إدارة المبنى، ويعرف أيضاً بنظام أتوماتية المبنى. كما تم تطوير هذا النظام ليشمل إعداد أوامر الصيانة للمعدات المختلفة، وبرامج المحاسبة، وجرد مخازن قطع الغيار، وتحضير أوامر الشراء، وساعات العمل للعمال. كما أمكن كذلك، ربط نظام إدارة المبنى بشبكة الإنترنت العالمية؛ لتمكين مراقبة أداء النظم المختلفة عن بعد. ويوضح شكل (٩-٩) رسماً توضيحياً لنظام إدارة المبنى.

الفصل العاشر: التصميم والبناء والتشغيل

■ إدارة مراحل المشروع. ■ مرحلة التصميم. ■ مرحلة التعاقد لتنفيذ بناء المشروع. ■ مرحلة بناء المشروع. ■ مرحلة الضبط واختبار الأداء. ■ مرحلة التسليم للمالك. ■ مرحلة التشغيل والصيانة. ■ المواصفات. ■ العلاقة مع التصميم المعماري والمدني. ■ العلاقة بالنظم الأخرى.

يقدم هذا الفصل الخطوات التي يجب اتباعها؛ للحصول على نظام تكييف هواء مركزي يعمل بكفاية عالية، لضمان أن يكون مردود ما ينفق من مال لبناء وتشغيل هذا النظام أعلى ما يمكن. ولا تطبق جميع هذه الخطوات عند العمل بنظم صغيرة، ولكن ينصح بتطبيقها في المنشآت الكبيرة والمشاريع الضخمة، لتعظيم الاستفادة من هذه المشاريع. وتشمل الخطوات الواردة هنا: مراحل التصميم، وبناء وتسليم المشروع إلى العميل، وكذلك التعرف على المطلوب لضبط واختبار نظم ومكونات نظام تكييف الهواء. كما يقدم عرضاً للعلاقة بين نظام تكييف الهواء والنظم الأخرى الموجودة بالمبنى أو المنشأة.

١٠-١ إدارة مراحل المشروع

يمرُّ المشروع بعدة مراحل مهمة من بداية العمل به كفكرة، وانتهاءً بالوصول به إلى نظام يعمل بكفاءة، ويحقق المطلوب منه. وتشمل هذه المراحل الآتي:

- مرحلة التصميم.
- مرحلة التعاقد لتنفيذ بناء المشروع.
- مرحلة بناء المشروع.
- مرحلة الضبط واختبار الأداء.
- مرحلة التسليم للمالك.
- مرحلة التشغيل والصيانة.

يقوم المالك بعد إعداد دراسة الجدوى للمشروع، واقتناعه الكامل بتنفيذه، وتوفير الميزانية اللازمة له: بتعيين ممثل له يشرف على إنهاء المراحل التي وردت

للمشروع بشكل مرضي. وتبعاً لحجم المشروع، فإن ممثل المالك قد يكون فرداً أو مجموعة من المهنيين، كالمعماريين والمهندسين والمحاسبين، أو شركة إدارة مشاريع تضم التخصصات المختلفة اللازمة لإدارة المشروع. ويكون لممثل المالك المهام والصلاحيات اللازمة لتحقيق الآتي:

- إعداد الجدول الزمني للمشروع وإدارة الوقت له؛ للالتزام الكامل بالجدول الزمني، لإنهاء المشروع وتشغيله في الموعد المتوقع له، ومتابعة جميع الأطراف التي تعمل بالمشروع وذات الصلة بهذا الجدول.
- إعداد قائمة المهام المطلوب تنفيذها في جميع مراحل المشروع، والطرف المعني بتنفيذ كل مهمة والموعد اللازم للانتهاء منها، وإدارة هذه المهام، أي: متابعة تنفيذ كل مهمة والتأكد من الانتهاء منها بشكل ملائم بالترتيب وفي التوقيت المناسب؛ مما لا يكون له مردود سيئ على الالتزام بالجدول الزمني للمشروع.
- مراقبة التعاقدات المتنوعة مع الأطراف المختلفة المشاركة في مراحل المشروع، والتأكد بالتزام الجميع ببنود التعاقد.
- إعداد ميزانية المراحل المختلفة بالمشروع، ومراقبة هذه الميزانية وعمل اللازم لمنع ارتفاعها دون أسباب مقبولة.
- إعداد برنامج مراقبة وتأكيد الجودة بالمشروع.

وفيما يلي عرض لكل مرحلة من هذه المراحل وما يجب إتباعه نحوها.

١٠-٢ مرحلة التصميم

مرحلة التصميم هي المرحلة الأولى بالمشروع. يقوم ممثل المالك باختيار المصمم من قائمة المتقدمين بعروضهم لتصميم المشروع، ويتم الاختيار تبعاً لأفضل العروض المتقدمة. ويقع الاختيار عادة على واحدة أو أكثر من الشركات المتخصصة في نوع نشاط المشروع، التي لها سابقة خبرة مناسبة بتصميم النظم الهندسية المتوقع بنائها به.

يقوم مصمم تكييف الهواء بعدة خطوات لإنهاء التصميم المكلف به، وهذه الخطوات هي:

- تجميع البيانات والمعلومات التي لها علاقة بالمشروع.
- وضع المنهج المتبع في التصميم.
- وضع التصميم التفصيلي.
- وضع مستندات الطرح لتنفيذ المشروع.

فيقوم المصمم كخطوة أولية بجمع البيانات اللازمة للتصميم، مثل حالة الطقس في المنطقة من حيث تغير معدلات درجات الحرارة والرطوبة النسبية واتجاه وسرعة الرياح بموقع بناء المشروع، وكذلك التعرف على المنشآت الأخرى المجاورة للمشروع التي قد تؤثر أو تتأثر بالمشروع. كذلك يقوم المصمم بالتعرف على التشريعات والمتطلبات المحلية الخاصة بمنطقة بناء المشروع، ذات الصلة ببناء نظام تكييف الهواء، مثل معدلات استهلاك الكهرباء لكل وحدة مساحة من المشروع، أو شروط اختيار أماكن المعدات الخارجية لنظام تكييف الهواء والضوضاء الصادرة منها وغيرها. كما يقوم المصمم: بالتعرف على احتياجات المشروع، والمواصفات والأكواد المحلية التي يجب اتباعها في التصميم.

ويتبع جمع البيانات خطوة أخرى هي: وضع المنهج المستخدم في التصميم، وهنا يقوم المصمم بوضع شروط التصميم الخارجية، من حيث درجات الحرارة والرطوبة، ووضع شروط التصميم الداخلية لجميع المناطق الداخلية تبعاً لطبيعة استخدامها. كذلك، يقوم المصمم بوضع البدائل المتاحة لنظم تكييف الهواء التي يمكن استخدامها في المشروع، ومقارنة هذه البدائل بعضها مع بعض، والوصول إلى التوصيات بما سوف يستخدم في المشروع. يقوم المصمم أيضاً، بوضع البدائل للمعدات التي سوف تستخدم في المشروع مع عرض مميزات وعيوب كل بديل، والتوصية بما سوف يستخدم في المشروع. ويقوم المصمم بعرض منهج التصميم على ممثل المالك (شركة إدارة المشروع) وتغير أو إضافة ما يلزم في منهج التصميم، ثم اعتماد ذلك.

بعد اعتماد منهج التصميم، تبدأ الخطوة الثالثة وهي وضع التصميم التفصيلي. يقوم المصمم بإعداد الحسابات والرسومات الهندسية اللازمة لذلك. وتشمل هذه المرحلة التنسيق مع التصميم المعماري ومع الأنشطة الهندسية الأخرى،

مثل: التصميمات الإنشائية، وباقي النظم الكهروميكانيكية لضمان توافق هذه التصميمات مع بعضها البعض. ويتم عرض التصميم التفصيلي على ممثل المالك لاعتماده أو إجراء التعديلات التي يراها؛ للوصول بالتصميم إلى مستوى مرضي.

بعد اعتماد التصميم التفصيلي يقوم المصمم بوضع مستندات طرح المشروع على المقاولين لتنفيذه، ويشمل ذلك الآتي:

- اللوحات الهندسية.
- مواصفات المعدات والخامات التي سوف تستخدم بالمشروع، ومواصفات البناء والاختبار والتسليم للمالك.
- قائمة الحصر لتسعير جميع مكونات المشروع، والمهام المطلوب القيام بها من قبل المقاول.

وبانتهاء هذه المرحلة تنتهي مرحلة التصميم.

١٠-٣ مرحلة التعاقد لتنفيذ بناء المشروع

في هذه المرحلة يقوم ممثل المالك (أو شركة إدارة المشروع) بدعوة المقاولين ذوي الخبرة في مشروعات مماثلة بالتقدم بعروضهم، لتنفيذ المشروع بالشروط والمواصفات الفنية الموضحة في مستندات الطرح. ويقوم ممثل المالك بتحليل العروض والتأكد من تلبية هذه العروض للاشتراطات والمواصفات الفنية الموجودة بمستندات الطرح. ويرجع ممثل المالك إلى المصمم عند الضرورة للمساعدة في ذلك، ثم يتم التعاقد مع أفضل العروض المالية التي تحقق الاشتراطات والمواصفات الفنية بمستندات الطرح. و يكون هذا التعاقد مع شركة واحدة للمشروع بالكامل أو التعاقد مع أكثر من شركة للقيام بالتنفيذ تبعاً للأعمال التي يتم التعاقد مع الشركة.

وخلال هذه المرحلة، يقوم ممثل المالك بالتعاقد مع فريق المهندسين الذي سوف يقوم بالإشراف على المقاول أو المقاولين الذين تم التعاقد معهم لتنفيذ المشروع. وفي أحوال كثيرة يقوم فريق من مهندسي الشركات المصممة للمشروع بالتعاقد للإشراف على بناء المشروع.

١٠-٤ مرحلة بناء المشروع

بالتعاقد مع مقاول التنفيذ تبدأ مرحلة بناء المشروع. ويقوم المقاول أو المقاولون بالبناء تحت إشراف مهندسين من ذوي الخبرة. وتتم مرحلة البناء وفقاً لبرنامج بناء المشروع، والمعدّ من قبل ممثل المالك لإدارة المشروع بعد التنسيق مع فريق الإشراف على التنفيذ. ويشمل البرنامج الزمني جدول المهام الخاصة بكل نشاط، والموعد المطلوب الانتهاء من تنفيذ كل مهمة من هذه المهام. ويقوم المقاولون وفريق الإشراف على التنفيذ، بإعداد تقارير يومية وأسبوعية وشهرية، تعكس تقدم العمل بالمشروع، واعتماد فريق الإشراف للمعدات والخامات الموردة بالمقاولين للمشروع، واعتماد فريق الإشراف لما تم من أعمال البناء، واعتماد الدفعات المالية المناظر لهذه الأعمال، ومدى مطابقة ميزانية المشروع للتكاليف الفعلية، والتغيرات التي طرأت على المشروع، وأسبابها، وتكلفتها.

١٠-٥ مرحلة الضبط واختبار الأداء

تعطي مرحلة الضبط واختبار الأداء مقياساً لمدى نجاح المشروع، من حيث الإدارة والتصميم والبناء. يقوم بهذه المرحلة شركة مستقلة تُعيّن من قبل المالك أو من يمثله. ويقوم فريق من المهندسين والفنيين بقياس أداء المعدات الخاصة بنظام تكييف الهواء، مثل: المبردات، والمضخات، ووحدات مناولة الهواء، والمراوح، وأبراج التبريد، والمحابس، وخانقات الهواء، ومجاري الهواء، ومخارج، ومداخل الهواء وغيرها. وتشمل الاختبارات قياس معدلات سريان الهواء والماء في الأماكن المختلفة، وكذلك قياس درجات حرارة الهواء والماء في الأماكن المختلفة من نظام تكييف الهواء.

يقوم الفريق كذلك، بضبط المكونات المختلفة بالنظام، كما يقوم بلفت الانتباه إلى أي قصور في التركيبات، ومطالبة المقاول وفريق الإشراف بإجراء التصحيحات اللازمة لضمان أن يكون الأداء مماثلاً للمتوقع من التصميم. ويقوم الفريق بتسليم تقارير الاختبار النهائي إلى المالك أو من يمثله.

١٠-٦ مرحلة التسليم للمالك

مرحلة التسليم هي المرحلة النهائية للبناء. وفي هذه المرحلة تنقل مسؤولية تشغيل

النظم المختلفة من المقاول إلى فريق التشغيل الذي يتم تعيينه من قبل المالك أو من يمثله. ويقوم المقاول بالترتيب مع فريق الإشراف بإجراء التدريب اللازم لفريق التشغيل. كما يقوم المقاول عن طريق المالك أو من يمثله بتسليم نسخة من المستندات الآتية إلى فريق التشغيل: مستندات التصميم من حيث اللوحات الهندسية والمواصفات وقائمة الحصر، واللوحات الهندسية للبناء شاملة ما تم من تعديلات أثناء البناء، (نشرات وكتالوجات) التشغيل والصيانة لجميع المعدات، وتقارير اختبارات الأداء لنظام تكييف الهواء ومكوناته المختلفة.

١٠-٧ مرحلة التشغيل والصيانة

تبدأ مرحلة التشغيل والصيانة أثناء مرحلة التسليم النهائي. وفي بعض المشاريع يتم تعيين المسؤولين عن التشغيل والصيانة في بداية مرحلة التنفيذ للمشروع، ليكون هؤلاء المسؤولون على دراية بجميع تطورات المشروع. يكون من مسؤوليات فريق التشغيل والصيانة: متابعة تشغيل المعدات والمكونات، وإجراء الصيانة الدورية والفجائية لها، ويكون من ضمن هذه المسؤوليات: مراقبة متغيرات الأداء وتحليلها؛ لمعرفة ما قد يطرأ على الأداء من تغير نتيجة ظهور بعض المشاكل، وعمل اللازم لتحسين الأداء وخفض تكلفة التشغيل، واقتراح استبدال بعض المكونات عند الضرورة، وحفظ مخزون من قطع الغيار والمواد الاستهلاكية اللازمة للتشغيل، ومراقبة نوعية الهواء الداخلي بالمبنى وتجنب ظهور وباء المبنى المريض للمحافظة على صحة الشاغلين للمبنى أو المنشأة.

١٠-٨ المواصفات والأكواد

المواصفات والأكواد هي: مجموعة من القواعد المنظمة لتصميم وتصنيع وبناء وتشغيل وصيانة مكونات ونظم تكييف الهواء. ويُوصَى دائماً باستخدام هذه المواصفات والأكواد؛ لضمان جودة الأداء، ورفع العائد على ما يتم إنفاقه من مال في بناء هذه النظم. وتقوم هيئات متخصصة محلية ودولية: بإعداد هذه المواصفات والأكواد وتحديثها بصفة دورية بالاستعانة بالخبراء والمهنيين من ذوي الاهتمام بهذا الموضوع. وأهم الجهات الدولية التي تساهم في إصدار وتحديث المواصفات والأكواد الدولية الخاصة بنظم تكييف الهواء الآتي:

- جمعية مهندسي التبريد وتكييف الهواء الأمريكيين (ASHRAE).
- الوكالة الوطنية للحماية من الحريق (NFPA).
- الاتحاد الوطني لمقاولي الصاج وتكييف الهواء(SMACNA) .
- الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين (ASME) .
- المعهد الأمريكي الوطني للمواصفات (ANSI) .

وتستخدم معظم الدول مواصفات محلية، بالإضافة إلى المواصفات الدولية. فمثلاً، يوجد ببريطانيا المواصفات البريطانية التي تهتم بالمكونات والنظم المختلفة لتكييف الهواء، وإن كانت بعض الدول تشير إلى المواصفات البريطانية على أنها أيضاً مواصفات دولية، كما يوجد بالسعودية المواصفات السعودية لتكييف الهواء ويوجد في مصر (الكود) المصري لتكييف الهواء.

١٠-٩ العلاقة مع التصميم المعماري والمدني

لا يمكن تصميم وتنفيذ نظم تكييف الهواء دون التنسيق مع التصميم المعماري. ويتم خلال هذا التنسيق تبادل الخبرات والمعلومات والاحتياجات بين مصمم نظم التكييف والمصمم المعماري. فمثلاً، يقوم مصمم تكييف الهواء بدراسة تأثير مساحات أيّ وجهات زجاجية، ونوع الزجاج المستخدم، وكذلك مواصفات مواد البناء في الحوائط والأسقف على الحمل الحراري للمبنى، وتكاليف تشغيل نظام تكييف الهواء، ويقوم مصمم نظم تكييف الهواء أيضاً، بالتعاون مع المعماري بدراسة تأثير البدائل الممكنة لتكييف الهواء على إجمالي تكلفة بناء المشروع.

كما يقوم مصمم نظم تكييف الهواء بالتنسيق مع المعماري لتوفير المساحات اللازمة بالمبنى لمكونات ومعدات نظم تكييف الهواء. ويعمل الطرفان على الاستخدام الأمثل لهذه المساحات، دون إفراط لخفض تكاليف البناء، مع السماح بصيانة هذه المعدات بسهولة ودون الإخلال بالأداء المطلوب لها. فمثلاً، يعمل الطرفان على التنسيق في اختيار أماكن ومساحة مداخل ومخارج الهواء من المبنى. كما يتم التنسيق بينهما أيضاً بخصوص أماكن ومساحات غرف المعدات، وأماكن مسار مجارى الهواء، ومواسير المياه المثلجة والساخنة في الأدوار المختلفة بالمبنى، وبين دور وآخر. ومن المهم أيضاً، أن يقوم مصمم نظم تكييف الهواء بالتنسيق مع المهندس

الإنشائي للمشروع؛ ليأخذ في الاعتبار وزن المعدات والاهتزازات الصادرة منها عند إعداد التصميم الإنشائي، وبالتأكيد لا يمكن إكمال البناء دون التنسيق مع المهندس المدني المشرف على مقاول البناء، للتنسيق بين المهام المطلوبة لبناء نظم تكييف الهواء والمهام المدنية، وتوقيت دخول المعدات إلى الأماكن المخصصة لها.

١٠-١٠ العلاقة بالنظم الأخرى

لا يقتصر التنسيق على التنسيق بين مصمم نظم تكييف الهواء والمعماري فقط، وإنما يمتد ذلك ليشمل التنسيق مع النظم الأخرى. فمثلاً، يتم التنسيق مع مصمم نظم الكهرباء لإمداد المبردات والمضخات وأبراج التكييف ووحدات مناولة الهواء، ووحدات الملف المروحية، والمراوح ونظم التحكم، وغيرها بالقدرة الكهربائية اللازمة للتشغيل. ويتم التنسيق أيضاً لتحديد معدات تكييف الهواء التي تحتاج إلى مصادر للقدرة الكهربائية في حالة انقطاع التيار الكهربائي الرئيس المغذي لهذه الوحدات. كما يتم التنسيق أيضاً، مع مصمم الإضاءة الداخلية، ومصمم الديكور الداخلي في الأماكن المختلفة؛ لضمان عدم الإخلال بجودة توزيع الهواء بهذه الأماكن.

ويقوم مصمم تكييف الهواء بالتنسيق أيضاً، مع مصمم نظم مكافحة الحريق، لوضع طريقة التحكم في تشغيل معدات تكييف الهواء في حالة الحريق، وأيضاً لضمان عدم تعارض مسارات هذه النظم بعضها مع بعض. كما يتم التنسيق بين الطرفين أيضاً فيما يخص قيام مصمم تكييف الهواء والتهوية بتصميم نظام مستقل، أو ملحق بنظم تكييف الهواء؛ لإزالة الدخان من أماكن محددة بالمبنى، وتأمين مسارات آمنة خالية من دخان الحريق للهروب. يقوم مصمم تكييف الهواء أيضاً، بالتنسيق مع مصمم نظم إمداد المياه والصرف؛ لإمداد معدات تكييف الهواء بالمياه والصرف بحسب الحاجة، كإمداد مثلجات المياه بتعويض أي فقد من شبكة المياه المثلجة، وربطها بنظام الصرف اللازم لتفريغ هذه الشبكة من المياه عند أعمال الصيانة التي تحتاج إلى ذلك، وكذلك إمداد شبكة أبراج التبريد بالتعويض اللازم من المياه، وإمداد غرف المعدات بالمياه المطلوبة؛ لتنظيف المعدات وتصريف هذه المياه، وربط ملفات التبريد بشبكة الصرف؛ لتصريف بخار الماء المكثف في هذه الملفات.

المراجع

السيد، مصطفى محمد، المعدات الأساسية لهندسية التبريد، دار الفكر العربي، القاهرة، جمهورية مصر العربية، ١٩٩٣م.

السيد، مصطفى محمد، وقدري أحمد فتحي، وإبراهيم السعيد مجاهد، النماذج الحسابية للنظم الحرارية الشمسية، مركز النشر العلمي، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية، ١٩٩٤م/أ.

السيد، مصطفى محمد، وقدري أحمد فتحي، ومحمد علي درويش، هندسة التبريد وتكييف الهواء، مركز النشر العلمي، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية، ١٩٩٤م/ب.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Handbook of HVAC Applications, 2003

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Handbook of HVAC Systems and Equipment, 2004

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Handbook of Fundamentals, 2005

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Handbook of Refrigeration, 2006

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, ASHRAE Standard 621999, 1999

Butler, D J G, Using air for cooling, Prepared for CIBSE, BRE Publication Draft number 202296, Bucknalls Lane, Garston, Watford, UK WD2 7JR, Jan 2001

Cox, JF. and C.R. Miro, Geneva Climate Change Negotiations, ASHRAE J., pp. 18 -19, Sept. 1996.

Fisher, S.K., P.D. Fairchild, and P.J. Hughes, Global Warming Implications of Replacing CFCs, ASHRAE J., Vol. 34, No. 4, pp 14 - 19 ,1996.

Jennings, B.H., The Thermal Environment: Conditioning and Control, Happer & Row, Publishers, New York, 1978.

Jones, W.P, Air Conditioning Engineering, Edward Arnold, pp 255 -259,1994.

Nagengast, B.A., Refrigerants: 160 Years of Change, ASHRAE Journal, Vol. 37, No.3, pp 54 -62, 1995.

Nagengast, B.A., Refrigerants: 100 Years of Air Conditioning, ASHRAE Journal, pp. 44 - 46, 2002.

McCarty, M., An Introduction to Thermoacoustic Refrigeration, School of Mechanical

and Aerospace Engineering, Cornell University, April 29, 2005. A report on Internet, http://132.236.67.210/EngrWords/issues/ew02/McCarty_slides.pdf

Phan, T., A. Erman, M. Hair, M. Countis, V. Biccoca, Fuel Cells: Efficiency and Materials, Power Point Presentation on Internet, http://sexton.ucdavis.edu /CondMatt/ cox/fuelcellmaterials04.ppt, 2007

Thevenot, R., A History of Refrigeration Throughout the World, translated by J.C. Fidler, International Institute of Refrigeration, Paris, France, 1979.

UNEP, The Ozone Story, UNEP presentation, a power point presentation, updated 2003, see ozone.unep.org/slideshow/EDs_pres_ozoneday.ppt

Wade, L. A., Advances In Cryogenic Sorption Cooling, Recent Advances In Cryogenic Engineering-1993, ed. By J.P. Kelley and J. Goodman, American Society of Mechanical Engineers, New York, NY, HTD-Vol. 267, pp.57- 63,1993.

ثبت المصطلحات

عربي / إنجليزي

(أ)

احتباس حراري	global warming
استرجاع الطاقة	energy recovery
الاتحاد الوطني لمقاولي الصاج وتكييف الهواء	SMACNA
الجمعية الأمريكية للمهندسين الأمريكيين	ASME
المعهد الأمريكي الوطني للمواصفات	ANSI
الوكالة الوطنية للحماية من الحريق	NFPA
آشري	ASHRAE
أحادي الممر	single pass
أنبوب حراري	heat pipe
أنبوب شعري	capillary tube
أوتوماتي	automatic
أوزون	ozone
إشارة رقمية	digital signal
إشارة متناظرة أو متناظرة	analogue signal
انضغاط	compression

(ب - ث)

باكنت	BACnet
بخار	vapor
برج تبريد	cooling tower
بروتوكول اتصال	communication protocol
بروميد الليثيوم	lithuim bromide
بيئة خارجية	external environment
بيئة داخلية	internal environmental
تأثير تبريدي	refrigeration effect
تبريد	refrigeration
تبريد صوت حراري	thermoacoustic refrigeration
تبريد كهروحراري	thermoelectrical refrigeration
تبريد المادة المازة	desiccant refrigeration
تبريد مغناطيسي	magnetic refrigeration
تبريد أنبوب السريان الدوامي	vortex tube refrigeration
تبريد باستخدام دورة الهواء	air cycle refrigeration
تبريد بالامتصاص	absorption refrigeration

evaporative refrigeration	تبريد بالتبخير
vapor compression refrigeration	تبريد بانضغاط البخار
Stirling Cycle Refrigeration	تبريد بدورة إستيرلنج
district cooling	تبريد حي
sensible cooling	تبريد محسوس
air dehumidification	تجفيف الهواء
control	تحكم
digital control	تحكم رقمي
thermal storage	تخزين حراري
air humidification	ترطيب الهواء
sensible heating	تسخين محسوس
air change	تغير الهواء
air conditioning	تكييف هواء
turbine	توربين
thermostat	ثرموستات

(ج – خ)

ASHRAE	جمعية مهندسي التبريد وتكييف الهواء الأمريكيين
sensor	حاس
temperature sensor	حاس درجة حرارة
bimetal temperature sensor	حاس درجة حرارة ثنائي المعدن
specification volume	حجم نوعي
load	حمل
cooling load	حمل التبريد
heating load	حمل تدفئة
free convection (natural)	حمل حر (حمل طبيعي)
thermal load	حمل حراري
forced conversion	حمل قسري
damper	خانق
air damper	خانق هواء
psychometric chart	خريطة السيكرومترية
fuel cell	خلية وقود

(د – ز)

temperature	درجة حرارة
dry bulb temperature	درجة حرارة جافة
wet bulb temperature	درجة حرارة مبتلة
dew point temperature	درجة حرارة نقطة الندى

impeller	دفاعة
green house	دفيئة
air circulation	دوران الهواء
refrigeration cycle	دورة التبريد
reversed Bryton cycle	دورة بريتون المعكوسة
thermal comfort	راحة حرارية
relative humidity	رطوبة نسبية
digital	رقمي
vane	ريشة
fin	زعنفة

(س – ض)

suction	سحب
flow	سريان
extended surface	سطح ممتد
psychromety	سيكرومتري
silica gel	سيليكات الجيل
semi conductor	شبه موصل
design condition	شروط التصميم
work	شغل
mechanical work	شغل ميكانيكي
valve	صمام
orifice plate valve	صمام الصفيحة والثقب
venturi valve	صمام الفنثوري
expansion valve	صمام تمدد
automatic expansion valve	صمام تمدد أوتوماتي
thermostatic expansion valve	صمام تمدد ثرموستاتي
compressor	ضاغط
reciprocating compressor	ضاغط ترددي
screw compressor	ضاغط لولبي
hermetic compressor	ضاغط محكم الغلق
open compressor	ضاغط مفتوح
semi hermetic compressor	ضاغط نصف مغلق
discharge	طرد

(ع – ل)

exhaust	عادم
energy wheel	عجلة الطاقة

psychometric process	عملية سيكرومترية
crank shaft	عمود إدارة
control card	كارت تحكم
piston	كباس
efficiency	كفاءة
CloroFlouroCarbons	كلوروفلوروكاربون
lithium chloride	كلوريد الليثيوم
code	كود
Lonwork	لونورك

(م)

makeup water	ماء تعويض
refrigerant	مائع تبريد
desiccant material	مادة مازة
absorber	ماص
chiller machine	ماكينة تثليج ماء
heat exchanger	مبادل حراري
evaporator	مبخر
evaporator, shell and tube	مبخر الأنبوب والغلاف
evaporator, direct expansion	مبخر مباشر التمدد
refrigerant	مبرد
multi zone	متعدد المناطق
convergent-divergent	متقارب-متباعد
chiller	مثلج مياه
air duct	مجرى هواء
trigeneration plant	محطة ثلاثية التوليد
dual generation plant	محطة ثنائية التوليد
signal convertor	محول إشارة
air outlet	مخرج هواء
air inlet	مدخل هواء
air filter	مِرشّح هواء
humidifier	مُرطب
fan, centrifugal	مروحة طرد مركزي
fan, axial	مروحة محورية
stroke	مشوار
suction stroke	مشوار السحب
discharge stroke	مشوار الطرد
pump	مضخة
condenser	مكثف

condenser, evaporative	مكثف تبخيري
condenser, water cooled	مكثف مبرد بالماء
condenser, air cooled	مكثف مبرد بالهواء
split air conditoner	مكيف منفصل الوحدات (سبليت)
cooling coil	ملف تبريد
heating coil	ملف تسخين
zone	منطقة
specification	مواصفة
actuator	موجّه
generator	مولد
microprocessor	ميكروبروسيسور
carbon seives	نخالة الكربون
humidity ratio	نسبة رطوبة
building management system	نظام إدارة مبنى
all water system	نظام ماء شامل
all air system	نظام هواء شامل

(ن – ي)

jet	نفاث
indoor air quality	نوعية الهواء الداخلي
halocarbon	هالوكربوني
communication interface	واجهة تخاطب
sick building syndrome	وباء المبنى المريض
fan coil unit	وحدة ملف و مروحة
air handling unit	وحدة مناولة الهواء
single zone	وحيد المنطقة

(A)

absorber	ماص
absorption refrigeration	تبريد بالامتصاص
actuator	موجّه
air change	تغير الهواء
air circulation	دوران الهواء
air conditioning	تكييف هواء
air cycle refrigeration	تبريد باستخدام دورة الهواء
air damper	خانق هواء
air dehumidification	تجفيف الهواء
air duct	مجرى هواء
air filter	مرشح هواء
air handling unit	وحدة مناولة الهواء
air humidification	ترطيب الهواء
air inlet	مدخل هواء
air outlet	مخرج هواء
all air system	نظام هواء شامل
all water system	نظام ماء شامل
analogue signal	إشارة متناظرة أو متماثلة
ANSI	المعهد الأمريكي الوطني للمواصفات

ASHRAE	آشري
ASHRAE	جمعية مهندسي التبريد وتكييف الهواء الأمريكيين
ASME	الجمعية الأمريكية للمهندسين الأمريكيين
automatic	أوتوماتي
automatic expansion valve	صمام تمدد أوتوماتي

(B – C)

BACnet	باكنت
bimetal temperature sensor	حاس درجة حرارة ثنائي المعدن
building management system	نظام إدارة مبنى
capillary tube	أنبوب شعري
carbon seives	نخالة الكربون
chiller	مثلج مياه
chiller machine	ماكينة تثليج ماء
CloroFlouroCarbons	كلوروفلوروكاربون
code	كود
communication interface	واجهة تخاطب
communication protocol	بروتوكول اتصال
compression	انضغاط
compressor	ضاغط
condenser	مكثف

condenser, air cooled	مكثف مبرد بالهواء
condenser, evaporative	مكثف تبخيري
condenser, water cooled	مكثف مبرد بالماء
control	تحكم
control card	كارت تحكم
convergent-divergent	متقارب - متباعد
cooling coil	ملف تبريد
cooling load	حمل التبريد
cooling tower	برج تبريد
crank shaft	عمود إدارة

(D – E)

damper	خانق
desiccant material	مادة مازة
desiccant refrigeration	تبريد المادة المازة
design condition	شروط التصميم
dew point temperature	درجة حرارة نقطة الندى
digital	رقمي
digital control	تحكم رقمي
digital signal	إشارة رقمية
discharge	طرد

discharge stroke	مشوار الطرد
district cooling	تبريد حي
dry bulb temperature	درجة حرارة جافة
dual generation plant	محطة ثنائية التوليد
efficiency	كفاءة
energy recovery	استرجاع الطاقة
energy wheel	عجلة الطاقة
evaporative refrigeration	تبريد بالتبخير
evaporator	مبخر
evaporator, direct expansion	مبخر مباشر التمدد
evaporator, shell and tube	مبخر الأنبوب والغلاف
exhaust	عادم
expansion valve	صمام تمدد
extended surface	سطح ممتد
external environment	بيئة خارجية

(F – H)

fan coil unit	وحدة ملف و مروحة
fan, axial	مروحة محورية
fan, centrifugal	مروحة طرد مركزي
fin	زعنفة

flow	سريان
forced conversion	حمل قسري
free convection (natural)	حمل حر (حمل طبيعي)
fuel cell	خلية وقود
generator	مولد
global warming	احتباس حراري
green house	دفيئة
halocarbon	هالوكربوني
heat exchanger	مبادل حراري
heat pipe	أنبوب حراري
heating coil	ملف تسخين
heating load	حمل تدفئة
hermetic compressor	ضاغط محكم الغلق
humidifier	مُرطّب
humidity ratio	نسبة رطوبة

(I – N)

impeller	دفاعة
indoor air quality	نوعية الهواء الداخلي
internal environmental	بيئة داخلية
jet	نفاث
lithium chloride	كلوريد الليثيوم

lithuim bromide	بروميد الليثيوم
load	حمل
Lonwork	لونورك
magnetic refrigeration	تبريد مغناطيسي
makeup water	ماء تعويض
mechanical work	شغل ميكانيكي
microprocessor	ميكروبروسيسور
multi zone	متعدد المناطق
NFPA	الوكالة الوطنية للحماية من الحريق

(O – R)

open compressor	ضاغط مفتوح
orifice plate valve	صمام الصفيحة والثقب
ozone	أوزون
piston	كباس
psychometric chart	خريطة السيكرومترية
psychometric process	عملية سيكرومترية
psychromety	سيكرومتري
pump	مضخة
reciprocating compressor	ضاغط ترددي
refrigerant	مائع تبريد

refrigerant	مبرد
refrigeration cycle	دورة التبريد
refrigeration effect	تأثير تبريدي
refrigeration effect	تبريد
relative humidity	رطوبة نسبية
reversed Bryton cycle	دورة بريتون المعكوسة

(S)

screw compressor	ضاغط لولبي
semi conductor	شبه موصل
semi hermetic compressor	ضاغط نصف مغلق
sensible cooling	تبريد محسوس
sensible heating	تسخين محسوس
sensor	حاس
sick building syndrome	وباء المبنى المريض
signal convertor	محول إشارة
silica gel	سيليكات الجيل
single pass	أحادى الممر
single zone	وحيد المنطقة
SMACNA	الاتحاد الوطني لمقاولي الصاج وتكييف الهواء
specification volume	حجم نوعي

speicifation	مواصفة
split air conditoner	مكيف منفصل الوحدات (سبليت)
Stirling Cycle Refrigeration	تبريد بدورة إستيرلنج
stroke	مشوار
suction	سحب
suction stroke	مشوار السحب

(T – Z)

temperature	درجة حرارة
temperature sensor	حاس درجة حرارة
thermal comfort	راحة حرارية
thermal load	حمل حراري
thermal storage	تخزين حراري
thermoacoustic refrigeration	تبريد صوت حراري
thermoelectrical refrigeration	تبريد كهروحراري
thermostat	ثرموستات
thermostatic expansion valve	صمام تمدد ثرموستاتي
trigeneration plant	محطة ثلاثية التوليد
turbine	توربين
valve	صمام
vane	ريشة

vapor	بخار
vapor compression refrigeration	تبريد بانضغاط البخار
venturi valve	صمام الفنثوري
vortex tube refrigeration	تبريد أنبوب السريان الدوامي
wet bulb temperature	درجة حرارة مبتلة
work	شغل
zone	منطقة

الكشاف



مطابع مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية